



Esta obra está bajo una [Licencia  
Creative Commons Atribución-  
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN -TARAPOTO**

**FACULTAD DE ECOLOGÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**Distribución espacial vertical de la concentración de material particulado respirable (PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>) en el Morro de Calzada**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental**

**AUTOR:**

**Miguel Tomás Guerra Saldaña**

**ASESOR:**

**Ing. M. Sc. Alfonso Rojas Bardález**

**Código N° 6055419**

**Moyobamba – Perú**

**2020**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN -TARAPOTO

## FACULTAD DE ECOLOGÍA

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

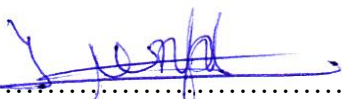


#### Distribución espacial vertical de la concentración de material particulado respirable ( $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ ) en el Morro de Calzada

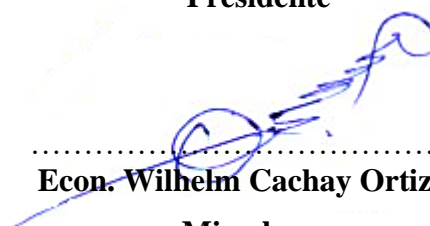
#### AUTOR:

Miguel Tomás Guerra Saldaña

Sustentada y aprobada el 30 de diciembre del 2020, por los siguientes jurados

  
.....  
Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza  
Presidente

  
.....  
Ing. Angel Tuesta Casique  
Secretario

  
.....  
Econ. Wilhelm Cachay Ortiz  
Miembro

  
.....  
Ing. M. Sc. Alfonso Rojas Bardález  
Asesor

## Declaratoria de autenticidad

**Miguel Tomás Guerra Saldaña**, con DNI N° 77165737, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ecología de la de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, autor de la tesis titulada: **Distribución espacial vertical de la concentración de material particulado respirable (PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>) en el Morro de Calzada.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Moyobamba, 30 de diciembre del 2020.

  
.....  
**Bach. Miguel Tomás Guerra Saldaña**



DNI N° 77165737

**Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y nombres: <i>Guerra Saldana Miguel Tomás</i>	
Código de alumno : <i>77165937</i>	Teléfono: <i>928549946</i>
Correo electrónico : <i>migueltomasguerras@alumno.unam.edu.pe</i> DNI: <i>77165937</i>	

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

Facultad de: <i>Ecología</i>
Escuela Profesional de: <i>Ing. Ambiental</i>

**3. Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título : <i>Distribución espacial vertical de la concentración de material particulado respirable (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>2.10</sub>) en el Hornos de Colzode</i>
Año de publicación: <i>2020</i>

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:


**6. Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.



## 7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

  
Firma y huella del Autor




## 8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

05 / 02 / 2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - T.  
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e  
Innovación de Acceso Abierto - UNSM-T.

  
Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea  
Responsable

\***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

\*\* **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

## Dedicatoria

*Esta investigación y todos mis logros les dedicó a mis padres, por ser el motor, motivo y ejemplos de superación, porque nunca dejaron de creer en mí, por sus consejos, sacrificios y esfuerzos constantes que me permiten día a día avanzar en mi vida personal y profesional.*

*Dedicatoria especial para mi hermano Paolo Guerra Saldaña quien desde el cielo guía mi camino, porque a pesar de ya no estar más con nosotros siguió siendo ese apoyo que todo hermano menor quiere tener en la vida.*

*A mis hermanas Margolith, Zoila, Ruth, Patricia y a mi hermano Juanito, a ustedes también dedico este trabajo por el apoyo incondicional que me han dado y por la formación personal que aprendí de todos ustedes.*

*A mis 12 sobrinos, quienes forman parte de mi inspiración y superación para hacer de sus vidas, una vida mejor.*

## **Agradecimiento**

A Dios, por brindarme salud, bienestar, oportunidades, por guiar mis pasos y por aquella bendición de poner a personas muy valerosas en mi vida, gracias señor.

A mis amigos que nunca me dejaron a un lado, gracias por formar parte de mi vida y por ser parte de mis sonrisas y enojos, a mis ex compañeros de mis tres niveles de estudio con quienes compartimos aula y momentos inolvidables durante todos estos años, a todos ellos gracias y de todo corazón deseo que les vaya bien en sus vida profesional y personal.

A la Universidad Nacional de San Martín – Facultad de Ecología, a mi asesor, a todos los docentes quienes impartieron conocimientos en mí, a los señores de limpieza y vigilancia quienes cumplen un rol fundamental, a todos ellos muchas gracias por todo, por la confianza y amistad que se creó en mi estancia en la universidad.

Agradezco también al señor decano de la facultad de ecología por haberme brindado las facilidades con respecto al equipo de medición utilizado, a las autoridades del distrito de Calzada muchas por facilitarme el ingreso hacia el área de estudio.



## Índice General

	Pág.
Dedicatoria .....	vi
Agradecimiento .....	vii
Índice general .....	viii
Índice de tablas .....	x
Índice de figuras .....	xi
Resumen .....	xii
Abstract.....	xiii
 Introducción.....	 1
 CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	 3
1.1. Antecedentes.....	3
1.1.1. Antecedentes internacionales .....	3
1.1.2. Antecedentes nacionales.....	4
1.1.3. Antecedentes regionales .....	5
1.1.4. Antecedentes locales .....	6
1.2. Marco teórico.....	7
1.3. Definición de términos básicos .....	16
 CAPÍTULO II: MATERIAL Y MÉTODOS.....	 21
2.1. Material.....	21
2.2. Métodos .....	21
 CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	 28
3.1. Características generales del ámbito de estudio .....	28
3.1.1. Ubicación geográfica.....	28
3.1.2. Caracterización de aspectos climatológicos .....	28
3.1.3. Caracterización de aspectos físicos .....	35
3.1.4. Fuentes de generación de material particulado .....	37
3.2. Determinación de la concentración de material particulado respirable PM <sub>2,5</sub> y PM <sub>10</sub> .....	38
3.2.1. Determinación de la concentración de PM <sub>2,5</sub> y PM <sub>10</sub> en la 1ra etapa.....	38

3.2.2. Determinación de la concentración de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ en la 2da etapa.....	42
3.3. Análisis y sistematización de las concentraciones de material particulado respirable $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ .....	46
3.3.1. Concentraciones de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ en la 1ra etapa.....	46
3.3.2. Concentraciones de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ en la 2da etapa. ....	51
3.3.3. Distribución de las concentraciones promedios de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ .....	56
3.3.4. Comparación de resultados con el DS N°-003-2017-MINAM .....	58
3.4. Evaluación de la diferencia significativa entre la altura y la concentración de material particulado respirable .....	59
3.4.1. Diferencia significativa entre la altura y la concentración de $PM_{2,5}$ .....	59
3.4.2. Diferencia significativa entre la altura y la concentración de $PM_{10}$ .....	61
3.5. Discusión de resultados .....	63
CONCLUSIONES.....	65
RECOMENDACIONES .....	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	68
ANEXOS .....	71
Anexo 1: Mapas.....	72
Anexo 2: Ficha de toma de muestra .....	82
Anexo 3: Registro fotográfico .....	83
Anexo 4: Acta de entrega de equipo de medición.....	85
Anexo 5: Autorización para ingreso al área de estudio.....	86

## Índice de tablas

Tabla 1. Atmosfera tipo internacional.....	8
Tabla 2. Estándares de calidad ambiental de aire para material particulado .....	15
Tabla 3. Ubicación de puntos de muestreo .....	22
Tabla 4. Datos técnicos del equipo del equipo digital electrónico TROTEC PC200 ...	22
Tabla 5. Temperatura promedio de febrero, marzo y abril de 2017, 2018 y 2019 .....	29
Tabla 6. Precipitación de febrero, marzo y abril de los años 2017, 2018 y 2019.....	30
Tabla 7. Humedad relativa de febrero, marzo y abril de los años 2017, 2018 y 2019..	31
Tabla 8. Fuentes de generación de material partitulado respirable $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ .....	38
Tabla 9. Determinación de la concentración de $PM_{2,5}$ en la 1ra etapa de estudio .....	39
Tabla 10. Determinación de la concentración de $PM_{10}$ en la 1ra etapa de estudio .....	40
Tabla 11. Determinación de la concentración de $PM_{2,5}$ en la 2da etapa de estudio.....	42
Tabla 12. Determinación de la concentración de $PM_{10}$ en la 2da etapa de estudio .....	44
Tabla 13. Diferencia de medias de concentraciones de $PM_{2,5}$ .....	59
Tabla 14. Diferencia de medias de concentraciones de $PM_{10}$ .....	61

## Índice de figuras

Figura 1. Distribución vertical media de temperatura y otras magnitudes en la atmósfera.....	8
Figura 2. Variación de la concentración de contaminantes x con distancia d a sotavento .....	11
Figura 3. Distribución de partículas en el aire, medidas en micrómetro .....	13
Figura 4. Clasificación del material particulado en la atmosfera urbano .....	14
Figura 5. Equipo digital electrónico TROTEC PC200.....	23
Figura 6. Altímetro digital .....	23
Figura 7. Prueba de significancia .....	27
Figura 8. Distribución de frecuencia de clase de viento del mes de febrero .....	32
Figura 9. Distribución de frecuencia de clase de viento del mes de marzo .....	33
Figura 10. Distribución de frecuencia de clase de viento del mes de abril .....	34
Figura 11. Concentración de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ de los puntos 1 y 2 (1ra etapa).....	46
Figura 12. Concentración de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ de los puntos 3 y 4 (1ra etapa).....	47
Figura 13. Concentración de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ de los puntos 5 y 6 (1ra etapa).....	47
Figura 14. Concentración de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ de los puntos 7 y 8 (1ra etapa).....	48
Figura 15. Concentración de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ de los puntos 9 y 10 (1ra etapa).....	49
Figura 16. Concentración de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ de los puntos 11 y 12 (1ra etapa).....	49
Figura 17. Concentración de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ de los puntos 1 y 2 (2da etapa) .....	51
Figura 18. Concentración de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ de los puntos 3 y 4 (2da etapa).....	52
Figura 19. Concentración de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ de los puntos 5 y 6 (2da etapa) .....	52
Figura 20. Concentración de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ de los puntos 7 y 8 (2da etapa) .....	53
Figura 21. Concentración de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ de los puntos 9 y 10 (2da etapa) .....	54
Figura 22. Concentración de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ de los puntos 11 y 12 (2da etapa) .....	54
Figura 23. Distribución de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ (1ra etapa) .....	56
Figura 24. Distribución de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ (2da etapa) .....	57
Figura 25. Comparación de $PM_{2,5}$ con los ECA del DS N°-003-2017-MINAN.....	58
Figura 26. Comparación de $PM_{10}$ con los ECA del DS N°-003-2017-MINAN .....	58
Figura 27. Prueba de significancia entre la distribución espacial vertical y la concentración de $PM_{2,5}$ .....	60
Figura 28. Prueba de significancia entre la distribución espacial vertical y la concentración de $PM_{10}$ .....	62

## Resumen

La investigación se desarrolló en el Morro de Calzada que tiene 575,0 m de altura siendo el punto más alto 1435,0 msnm, ubicado en los distritos de Calzada y Yantalo, contemplándose como objetivo principal “Evaluar la relación de la distribución espacial vertical y la concentración de material particulado respirable  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ ”. Dentro de los instrumentos principales utilizados en la investigación fueron el contador de partículas TROTEC PC200 y el altímetro, la muestra estuvo conformada por 12 puntos a nivel de altura, se tomó muestra durante 3 meses (febrero, marzo y abril) subdividiéndolo en dos etapas para facilitar el análisis, en la primera se tomaron 12 muestras entre sábados y domingos de los cuales la concentración promedio máxima y mínima determinada para  $PM_{2.5}$  fue  $24,22 \text{ ug/m}^3$  y  $7,36 \text{ ug/m}^3$ , para  $PM_{10}$  fue  $43,39 \text{ ug/m}^3$  y  $11,62 \text{ ug/m}^3$  respectivamente, en la segunda etapa de 12 muestras tomadas los viernes y sábados la concentración promedio máxima y mínima para  $PM_{2.5}$  fue  $19,18 \text{ ug/m}^3$  y  $4,17 \text{ ug/m}^3$ , para  $PM_{10}$   $31,00 \text{ ug/m}^3$  y  $6,97 \text{ ug/m}^3$  respectivamente, lo cual permite indicar que conforme aumenta la altura existe menor concentración de ambos parámetros siendo la del  $PM_{10}$  un descenso mucho mayor debido a varios factores, afirmándose mediante la diferencia de medias y estadístico prueba de t de student a un nivel de confianza de 95% que se rechaza  $H_0$ , aceptando que existe diferencia significativa entre la distribución espacial vertical y la concentración de material particulado respirable  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ .

**Palabras clave:** Distribución espacial vertical, material particulado  $PM_{2.5}$ , material particulado  $PM_{10}$ .

## Abstract

The research was carried out at Morro de Calzada, which is 575.0 m high, the highest point being 1435.0 m above sea level, located in the districts of Calzada and Yantalo, with the main objective of "Evaluating the relationship between vertical spatial distribution and the concentration of breathable particulate matter  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$ ". The main instruments used in the investigation were the particle counter TROTEC PC200 and the altimeter, the sample consisted of 12 points at altitude level, samples were taken during 3 months (February, March and April) subdividing it into two stages to facilitate the análisis. During the first stage, 12 samples were taken between Saturdays and Sundays of which the maximum and minimum average concentration determined for  $PM_{2.5}$  was  $24.22 \mu g/m^3$  and  $7.36 \mu g/m^3$ , for  $PM_{10}$  was  $43.39 \mu g/m^3$  and  $11.62 \mu g/m^3$  respectively; in the second stage of 12 samples taken on Fridays and Saturdays the maximum and minimum average concentration for  $PM_{2.5}$  was  $19.18 \mu g/m^3$  and  $4.17 \mu g/m^3$ , for  $PM_{10}$   $31.00 \mu g/m^3$  and  $6.97 \mu g/m^3$  respectively, which indicates that as the altitude increases there is a lower concentration of both parameters, with  $PM_{10}$  having a much greater decrease due to several factors. The difference of means and the statistical Student's t-test at a confidence level of 95% affirms that  $H_0$  is rejected, accepting that there is a significant difference between the vertical spatial distribution and the concentration of breathable particulate matter  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$ .

**Key words:** Vertical spatial distribution,  $PM_{2.5}$  particulate matter,  $PM_{10}$  particulate matter.





## Introducción

El material particulado (MP) es un conjunto de partículas sólidas y líquidas emitidas directamente al aire, entre los cuales se tiene el hollín de diésel, polvo de vías, el polvo de la agricultura y las partículas resultantes de procesos productivos (Fang et al., 2003). Para la normatividad colombiana, el MP no sedimenta en períodos cortos, sino que permanece suspendido en el aire debido a su tamaño y densidad, estas partículas en suspensión (MP) representan una compleja mezcla de productos químicos y/o elementos biológicos, como metales, sales, materiales carbonosos, orgánicos volátiles, compuestos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y endotoxinas que pueden interactuar entre sí formando otros compuestos. (Billet et al., 2007).

Los niveles de contaminación del aire siguen siendo peligrosamente altos en muchas partes del mundo. Según nuevos datos de la (Organización Mundial de la Salud, 2018b), nueve de cada diez personas respiran aire con altos niveles de contaminantes. La OMS estima que cerca de siete millones de personas mueren cada año por la exposición a las partículas finas contenidas en el aire contaminado, las cuales penetran profundamente en los pulmones y el sistema cardiovascular provocando enfermedades como accidentes cerebrovasculares, cardiopatías, cáncer de pulmón, neumopatía obstructiva crónica e infecciones respiratorias, por ejemplo, neumonía.

Ante este problema surge la necesidad de generar información relevante que permita hacer de conocimiento a la población en general acerca del tema, cuyo problema se resumió mediante la siguiente proposición ¿Cuál es la relación de la distribución espacial vertical y la concentración de material particulado respirable ( $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ ) en el Morro de Calzada?, en este contexto el objetivo principal de esta investigación fue “Evaluar la relación de la distribución espacial vertical y la concentración de material particulado respirable  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$  en el Moro de Calzada”, cuyos objetivos específicos se enfocan en, 1ro: Determinar la concentración de material particulado respirable ( $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ ) a diferente altura en el Morro de Calzada, 2do: Analizar y sistematizar las concentraciones del material particulado respirable  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$  y, 3ro: Evaluar y analizar la diferencia significativa entre la altura y la concentración de material particulado respirable.

En el capítulo I, se presentan los antecedentes de la investigación, donde se expone un extracto de las investigaciones realizadas respecto al tema de investigación, asimismo se presentan las bases teóricas referido al tema investigado y por último se muestran también la definición de términos básicos.

En el capítulo II, podemos encontrar la descripción de los materiales utilizados para la obtención de los datos y desarrollo de la investigación, además se describen los métodos utilizados mencionando todo el procedimiento para cumplir con los objetivos específicos y general trazados, desde la recolección de datos hasta el análisis de las diferencias significativas.

En el capítulo III, se exponen mediante tablas y figuras los resultados del trabajo de investigación los mismos que dan respuesta a los objetivos planteados, en este apartado se presenta una descripción de las características generales del ámbito de estudio, especificando la ubicación geográfica, caracterización de aspectos climatológicos y físicos, además de las fuentes de generación de material particulado, también podemos encontrar los resultados de la determinación de la concentración de estos parámetros a partir de la cantidad de partículas captadas por el equipo de medición, se presenta un análisis sistematizado de estas concentraciones específicamente en dos épocas para mejorar el análisis, interpretación y comprensión, podemos encontrar también la distribución de las concentraciones y la comparación con los ECA; por otro lado y cumpliendo con todos los objetivos se presentan la evaluación de la diferencia significativa entre la altura y la concentración de material particulado respirable mediante la prueba t student para ambos parámetros. En este apartado se presentan también las discusiones, donde se analizaron y compararon los resultados obtenidos en correspondencia con los antecedentes de investigación.

En la presente investigación se llegó a la conclusión que mientras mayor sea la altura menor será la concentración de los parámetros estudiados, comprobando este resultado mediante la diferencia de medias y el estadístico prueba t de student, dando a conocer que existe diferencia significativa entre la distribución espacial vertical y la concentración de material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  desarrollando de esta manera una distribución vertical normal de los contaminantes, si bien se deja claro que hoy en día no existe un problema respecto al tema tratado, pero se hace de conocimiento que en unos años mientras sigamos desarrollando las actividades como hoy en día lo hacemos esto puede cambiar y convertirse en un grave y serio problema para todos los seres vivos de la zona.

# **CAPÍTULO I**

## **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1. Antecedentes de la investigación**

#### **1.1.1. Antecedentes internacionales**

Organización Mundial de la Salud (2018b), menciona que nueve de cada diez personas respiran aire con altos niveles de contaminantes, estima que cerca de siete millones de personas mueren cada año por la exposición a las partículas finas contenidas en el aire contaminado las cuales penetran profundamente en los pulmones y el sistema cardiovascular provocando enfermedades como accidentes cerebrovasculares, cardiopatías, cáncer de pulmón, neumopatía obstructiva crónica e infecciones respiratorias como por ejemplo, neumonía. Además, estima que aproximadamente el 90% de las personas de todo el mundo respiran aire contaminado y que en los últimos seis años los niveles de contaminación del aire en el ambiente han permanecido elevados y más o menos estables.

Organización Mundial de la Salud (2018a), reconoce que la contaminación del aire es un factor de riesgo crítico para las enfermedades no transmisibles (ENT), ya que estima que causa una cuarta parte (24%) de todas las muertes de adultos por cardiopatías, el 25% de las muertes por accidentes cerebrovasculares, el 43% de las muertes por neumopatía obstructiva crónica y el 29% de las muertes por cáncer de pulmón.

Orfanoz (2016), manifiesta en su investigación que simuló las condiciones meteorológicas y la dispersión de BC en la cuenca de Santiago, utilizó un modelo numérico que describe la dinámica de la atmósfera y el transporte de monóxido de carbono (CO) como trazador de carbono negro (BC). Logró encontrar que los perfiles de BC observados durante la campaña muestran en horas de la tarde una capa de BC por sobre los 1000 [m] de altitud, desacoplada de la capa de mezcla. La circulación térmica de valle y montaña llevaría los contaminantes hacia la cordillera durante el día y cuando el flujo se invierte al atardecer, traería esos mismos contaminantes de vuelta hacia la cuenca, pero en altura, haciendo

posible que estas capas “residuales” de contaminantes al día siguiente cuando la capa límite se vuelve convectiva, puedan mezclarse con las nuevas emisiones y agravar las condiciones de calidad del aire de la ciudad.

### **1.1.2. Antecedentes nacionales**

Reátegui (2018), menciona que los perfiles de concentraciones de valores medios observados en estaciones analizadas, tienen un comportamiento que se relacionan con las características del tráfico vehicular en la ciudad de Lima y que el grueso de la contaminación está influenciado por material particulado, principalmente  $PM_{10}$ .

Manifiesta además que las desviaciones estándares del material particulado  $PM_{10}$  en febrero fueron mayores a las de julio (excepto en SJL), indicando que hay mayor dispersión de la concentración de  $PM_{10}$  en febrero. Las desviaciones estándares del material particulado  $PM_{2,5}$  en julio fueron mayores a las de febrero (excepto en CDM y PPD), indicando así que hay mayor dispersión de la concentración de  $PM_{2,5}$  en julio. Determino que las desviaciones estándares del material particulado  $PM_{10}$  en invierno fueron mayores a las de  $PM_{2,5}$ , motivo que implica una mayor variabilidad de las concentraciones, así como también un fenómeno de dispersión complejo del material particulado debido a las condiciones meteorológicas propias de la ciudad de Lima.

Rojas & Huaman (2017), menciona en su investigación que consideró el distrito de Jesús María por ser uno de los distritos donde existe un punto de toma de muestra ambiental (Monitor Ambiental) que según valores de SENAEMI se encuentra dentro de los valores normales ( $150 \mu g/m^3$  en 24 horas y  $50 \mu g/m^3$  anual). Encontraron que el material particulado en fracción respirable sobrepasa el límite máximo permisible ( $150 \mu g/m^3$ ) y por lo tanto genera contaminación ambiental, también determinaron que los valores mínimos  $2941,48 \mu g/m^3$  y máximo  $11940 \mu g/m^3$ , superan en aproximadamente 20 veces y 80 veces respectivamente. Además de ello, a través de la investigación encontraron sílice como contaminante medio ambiental como parte del cemento.

Briones y Malaver (2015), determinaron que en Cajamarca las concentraciones de  $PM_{10}$   $\mu g/m^3$  no superan los  $80 \mu g/m^3$  estando por debajo de los límites establecidos por los Estándares de calidad del Aire ( $PM_{10} < 150 \mu g/m^3$ ) como

establece el Ministerio del Ambiente del Perú. El material particulado  $PM_{10}$  es proveniente especialmente de partículas de polvo y fuentes que no corresponden necesariamente a las generadas por el ser humano, sino por la propia naturaleza, indicando que es esta misma la que regula sus concentraciones, así como el contexto y el entorno que influye en este tema.

En cuanto a los resultados obtenidos del año 2014 y 2015 con respecto a las concentraciones de  $PM_{2.5}$   $\mu g/m^3$  varían en cada año, logrando encontrar casi en todo momento por encima de los valores de  $25 \mu g/m^3$ , de igual manera sucede en el año 2015, donde en casi todos los meses los niveles de  $PM_{2.5}$   $\mu g/m^3$  exceden los estándares, a excepción de los meses de marzo y abril cuya diferencia es de  $2 \mu g/m^3$  para alcanzar estos límites, cuyas partículas serían aún más dañinas que las de  $PM_{10}$   $\mu g/m^3$ .

### 1.1.3. Antecedentes regionales

Flores (2017), presenta en su investigación los resultados obtenidos de los 5 puntos de estudio donde apreció que, en dos zonas superan los límites máximos planteados por la OMS que es de  $0.5 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$  los cuales son en el punto 01 (Sector Terminal Terrestre:  $0.63 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ ) y punto 05 (Sector I.E. Francisco Izquierdo Ríos:  $0.68 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ ), lo cual pone en riesgo la salud de la población más vulnerable (niños, madres gestantes y ancianos). En la zona 2 (B1) ubicado por el cementerio, la zona 3 (C1) ubicado por la zona de esparcimiento y la zona 4 (D1) ubicado por el centro de la ciudad tienen como promedio de partículas sedimentables  $0.42$ ,  $0.43$  y  $435 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ , respectivamente, concluyendo con este resultado que esas zonas no superan los límites permisibles.

Capuena & Angulo (2017), determinaron en que los meses donde se presentan mayores concentraciones promedio de  $PM_{2.5}$  son: mayo, junio y julio, presentando valores promedio generales de  $30,2$ ,  $30,4$  y  $31,1 \text{ ug/m}^3$  respectivamente. Los resultados obtenidos en cada localidad fueron los siguientes:

- En la localidad de Naranjos a nivel máximo y mínimo obtuvieron  $29$  y  $26,5 \text{ ug/m}^3$ , de acuerdo a estos resultados encontrados el  $100 \%$  de monitoreos realizados supera el estándar de calidad ambiental.

- En la localidad de Nueva Cajamarca el valor máximo obtenido de  $PM_{2,5}$  fue de  $29,5 \text{ ug/m}^3$  y un valor mínimo promedio de  $24,5 \text{ ug/m}^3$  demostrando así que en el 77,78% de los promedios de monitoreos realizados supera el estándar de calidad ambiental.
- En la localidad de Segunda Jerusalén el valor máximo obtenido de  $PM_{2,5}$  fue de  $30,5 \text{ ug/m}^3$  y un valor mínimo de  $28,0 \text{ ug/m}^3$ , lo cual advierte que en el 100% de los monitoreos realizados supera el estándar de calidad ambiental.
- En tanto en la localidad de Rioja el valor máximo obtenido de  $PM_{2,5}$  fue de  $33,0 \text{ ug/m}^3$  y un valor mínimo de  $29,5 \text{ ug/m}^3$ , demostrando así que el 100% supera el estándar de calidad ambiental.
- Para la localidad de Moyobamba, el valor máximo obtenido de  $PM_{2,5}$  fue de  $34,5 \text{ ug/m}^3$  y un valor mínimo de  $30,5 \text{ ug/m}^3$ , lo cual demuestra que el 100% del desarrollo del monitoreo supera el estándar.

Herrera (2011), en su investigación determinó que la concentración máxima es de  $19,20 \text{ mg/m}^3$  y  $25,59 \text{ mg/m}^3$  y la concentración mínima de  $3,48 \text{ mg/m}^3$  y  $4,44 \text{ mg/m}^3$  respectivamente, la misma que presentan valores menores en la época de invierno. El mencionado autor encontró que los niveles de material particulado  $PM_{10}$  en suspensión en el medio atmosférico (aire) de la población de Segunda Jerusalén se encuentran por debajo del Estándar Nacional de Calidad Ambiental para  $PM_{10}$ , siendo las concentraciones promedio de  $PM_{10}$  de  $10.14 \text{ mg/m}^3$  y  $13.37 \text{ } \mu\text{m/m}^3$  para las épocas de invierno y verano respectivamente, en cambio los estándares son 150 y  $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  (media aritmética anual) respectivamente. Menciona también que la concentración de partículas  $PM_{10}$  en la población de Segunda Jerusalén se encuentra mayormente distribuidas por debajo de los 6,0 m, cuyos resultados fueron obtenidos en su proyecto de investigación en los 16 puntos muestreados.

#### **1.1.4. Antecedentes locales**

Viena (2018), determinó en su investigación cuya área de estudio fue el tramo correspondiente a la carretera Calzada- Soritor que las partículas que mayor cantidad existen son las de  $PM_{0,3}$  con un valor de 76676,9 partículas por minuto de monitoreo. En cuanto a las partículas de  $PM_{0,5}$  obtuvo 63222,6 partículas,



para  $PM_1$  determinó en promedio 14680,3 partículas, para  $PM_{2,5}$  fue 4396,3 partículas, para  $PM_5$  obtuvo en promedio 1543,3 partículas y para  $PM_{10}$  fue la menor cantidad encontrándose un valor de 650,7 partículas.

Para  $PM_{10}$  cuyo valor estándar ( $100 \text{ ug/m}^3$ ) de calidad ambiental está considerado en el D.S N°003-2017-MINAM, dicho autor encontró un valor de  $300 \text{ ug/m}^3$  el cual supera en tres veces el valor establecido en la mencionada norma legal.

Viena & Cam (2018), mencionan que las zonas de mayor incidencia de generación de partículas suspendidas respirables en la ciudad de Moyobamba es el barrio de Calvario donde encontraron mayor concentración en todos los diámetros evaluados, situación que hizo deducir a los autores considerando que más del 50% de las calles de dicho barrio no cuentan con asfalto el cual estaría influenciando en la presencia del contaminante físico evaluado. En tanto, con respecto a la influencia que representa la presencia de partículas suspendidas respirables hacia la salud de la población más del 50% afirmó que al menos un integrante de la familia sufre problemas respiratorios en la ciudad de Moyobamba. Asimismo, apreciaron que la población manifiesta en un 56,25 % que han acudido al hospital por problemas respiratorios de 4 a 6 veces en los últimos meses, seguido de una frecuencia de visita al hospital de 1 a 3 veces en un 35,5 %.

## 1.2. Marco teórico

- **Estructura térmica vertical de la atmósfera**

Las variables meteorológicas que determinan el estado de la atmósfera (presión, temperatura, humedad, etc.) cambian de valor de un lugar a otro y, en el mismo lugar, varían también con la altura y el tiempo. Se necesita, pues, considerar tres clases de variaciones: horizontal, vertical y temporal. Sin embargo, su orden de magnitud es muy diferente. En efecto, si se representa la Tierra por una esfera de 1 m de diámetro, la atmósfera correspondería a un delgado estrato esférico de unos 2 cm de espesor. La variación de las magnitudes meteorológicas según la vertical ha de ser, por consiguiente, mucho más grande que en sentido horizontal. En cuanto a las variaciones temporales, son relativamente pequeñas y se limitan a oscilaciones alrededor de un valor medio, que caracterizan el clima del lugar considerado.

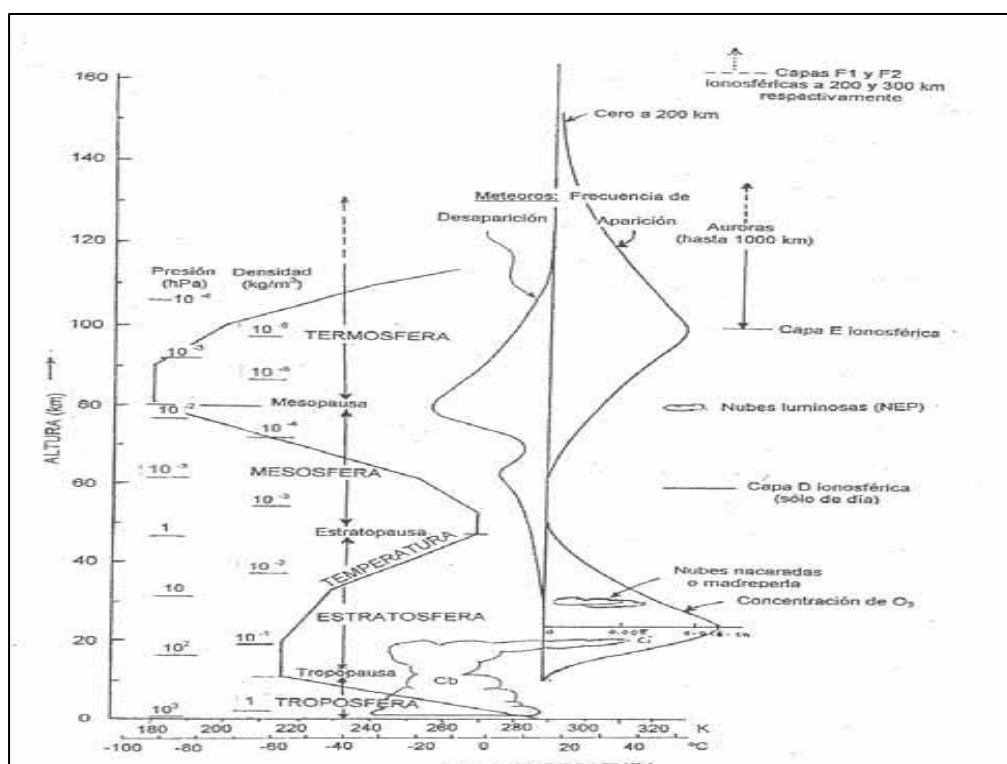
La estructura vertical de la atmósfera se conoce bastante bien hasta unos 40 km porque se explora varias veces al día mediante radiosondas, aparatos transportados por globos libres y provistos de sensores y de una pequeña radioemisora que va transmitiendo a tierra los datos a medida que se obtienen (Puigcerver & Dolors, 2008).

**Tabla 1**

*Atmosfera tipo internacional*

Z (km)	T (K)	T (°C)	Z (km)	T (K)	T (°C)
0	288,15	15	79	180,65	-92,5
11	216,65	-56,59	88,743	180,65	-92,5
20	216,65	-56,59	90	180,65	-92,5
32	228,65	-44,5	100	210,02	-
47	270,65	-2,5	110	257	63,13
52	270,65	-2,5	120	359,49	-
61	252,65	-20,5			16,15
					86,34

Fuente: (Puigcerver & Dolors, 2008)



**Figura 1.** La distribución vertical media de la temperatura y otras magnitudes en la atmósfera. (Fuente: Puigcerver & Dolors, 2008).

En la capa más baja, llamada troposfera, la temperatura, por término medio, decrece con la altura a razón de  $0,65\text{ }^{\circ}\text{C/hm}$ . Su masa constituye aproximadamente un 75% del total de la atmósfera y contiene casi todo el vapor de agua y el polvo atmosféricos (Puigcerver & Dolors, 2008).

- **La troposfera y sus características**

La troposfera es considerada como la capa más baja de la atmósfera. El hecho de estar junto al suelo la convierte en la porción de la atmósfera más afectada por las características de éste. En efecto, a fines de otoño y en invierno es frecuente encontrar una capa de aire frío junto al suelo como consecuencia del enfriamiento de éste por la emisión de radiación infrarroja. En tales casos, puede ocurrir que, al alejarse de la influencia del suelo ascendiendo en la troposfera, la temperatura no sólo no descienda al aumentar la altura, sino que incluso ascienda: esta anomalía se llama inversión térmica porque en la capa afectada se invierte el curso normal de variación de la temperatura troposférica con la altura. Por el contrario, cuando el suelo se calienta fuertemente por absorción de radiación solar, el aire junto a él también se calienta, lo que puede llegar a crear diferencias de densidad con el aire situado más arriba, que provocan movimientos de ascenso de burbujas de aire (grandes o pequeñas), proceso conocido como convección (Puigcerver & Dolors, 2008).

La frecuente presencia de corrientes verticales, que pueden dar lugar a condensación, formación de nubes y precipitación, es, pues, también característica de la troposfera. Tales corrientes son de diferentes escalas o dimensiones características: en el límite inferior se halla la agitación habitualmente llamada turbulencia, movimientos verticales rápidos, desordenados e irregulares y de corta duración que afectan a burbujas o partículas de aire de diámetros de algunos metros o menores; en un nivel intermedio, los movimientos que sacuden a los aviones se deben a partículas de diámetro inferior al centenar de metros (Puigcerver & Dolors, 2008).

- **La capa fronteriza de la atmósfera**

La superficie del suelo constituye el límite inferior de la atmósfera. La capa inferior de la troposfera, afectada y modificada por los procesos de transporte e intercambio de magnitudes (masa, calor, cantidad de movimiento) en dicha frontera, se llama capa fronteriza de la atmósfera; su espesor, variable con el tiempo y las condiciones

meteorológicas, puede oscilar entre 100 y 3000 m y el tiempo de respuesta a los estímulos del suelo (rozamiento, evaporación y transpiración, intercambio de calor, emisión de contaminantes y alteración de las corrientes por la topografía) es del orden de una hora o inferior. Característica también de la capa fronteriza –y no observada en la atmósfera libre– es la variación diurna de muchas propiedades, en particular la temperatura; ello no se debe a absorción directa de radiación solar (para la cual el aire es casi perfectamente transparente), sino a procesos indirectos de intercambio con el suelo, el cual sí absorbe energía solar, se calienta y a su vez calienta la capa de aire en inmediato contacto con él; el transporte turbulento reparte el calor en la capa fronteriza, aunque indirecta y en general lentamente, estas variaciones pueden llegar a afectar a la totalidad de la troposfera (Puigcerver & Dolors, 2008).

- **Altura máxima de mezclado**

El mezclado convectivo y turbulento ayuda mucho a la dispersión de los contaminantes en la atmósfera baja. El alcance vertical a la que ocurre dicho mezclado varía diariamente, de una a otra estación del año, y las características topográficas también la afectan. Mientras más grande sea el alcance vertical, mayor será el volumen de la atmósfera disponible para diluir la concentración de los contaminantes. Los efectos de flotación térmica determinan la altura de la capa convectiva de mezclado, que se conoce como la altura máxima de mezclado (AMM). Usualmente, se dispone de datos como el promedio de un periodo de 1 mes; por tanto, los valores de AMM disponibles se conocen como altura máxima promedio de mezclado (AMPM).

Los valores de AMM son por general más bajos durante la noche y aumentan durante las horas del día. Durante una fuerte inversión por la noche, dicho valor puede ser esencialmente cero, mientras que los valores de 2000 y 3000m son corrientes durante el día. Sobre una base estacional, la AMM promedio es mínima en el invierno y máxima a principios de verano, observándose que extensos episodios de la contaminación del aire urbano ocurre cuando el valor de la AMM es menor de 1500m (Wark & Warner, 2012).

- **Factores físicos que rigen en la dispersión atmosférica**

La atmósfera no se limita al papel de sujeto pasivo de la contaminación, sino que

interviene activamente en el proceso desde el mismo momento en que los contaminantes le son inyectados.

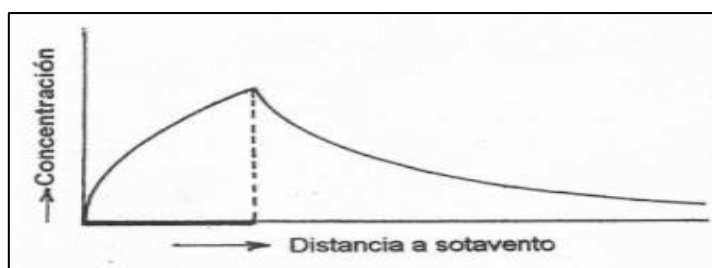
La segunda parte de la definición de contaminación atmosférica consideraba la permanencia de los contaminantes en la atmosfera durante cierto tiempo (tiempo de resiliencia), que está relacionado:

- 1) Con la capacidad de esta para dispersarlos
- 2) Con el lavado de la atmosfera que efectúan la lluvia, la nieve y las nubes
- 3) Con la deposición solida de compuestos insolubles
- 4) Con la reactividad química de los propios contaminantes

Los cuatro mecanismos contribuyen a ir reduciendo la concentración de los contaminantes en la atmosfera; pero si bien 2) y 3) eliminan los contaminantes de la atmosfera, los depositan sobre el suelo, mares, ríos, lagos, estructuras o seres vivos, en particular las plantas; el problema de la contaminación atmosférica es solo una parte del problema general de la contaminación del medio ambiente. Por otro lado, la dispersión o difusión no es una verdadera eliminación de los contaminantes sino una dilución debida del carácter turbulento de los movimientos atmosféricos (Puigcerver & Dolors, 2008).

- **Difusión o dispersión atmosférica**

La dispersión no elimina contaminantes de la atmosfera, sino que los reparte de tal manera que el volumen afectado por ellos sea cada vez mayor y, consiguientemente, la concentración cada vez menor. La dilución es efectuada primordialmente por el movimiento turbulento en la atmosfera y es el mecanismo más importante de que esta dispone para reducir la concentración, ya que los demás procesos son esporádicos mientras que la turbulencia, en mayor o menor grado, está siempre presente en el movimiento atmosférico (Puigcerver & Dolors, 2008).



**Figura 2.** Variación de la concentración de contaminantes  $x$  con distancia  $d$  a sotavento. (Fuente: Puigcerver & Dolors, 2008).

La variación de la concentración de los contaminantes al moverse el aire sobre una fuente de longitud finita y alejarse después de ella muestra el aspecto de la figura.

La concentración crece primero con la raíz cuadrada de la distancia y después decrece, rápidamente al principio y más despacio cuanto mayor la distancia. Sin embargo, las difusiones lateral y vertical reducen, pero no eliminan la contaminación; al pasar el aire sobre una nueva fuente, la contaminación adquirida se suma a la residual no nula y el proceso acumulativo persiste a menos que otros factores lo contrarresten (Puigcerver & Dolors, 2008).

- **Estabilidad atmosférica**

Según el gradiente térmico de la atmosfera y el gradiente adiabático seco, se pueden definir las tres situaciones de estabilidad atmosférica:

- Estable: El descenso vertical de la temperatura es inferior al gradiente adiabático seco.
- Inestable: El descenso vertical de la temperatura es superior al gradiente adiabático seco.
- Indiferente: el descenso vertical de la temperatura es igual al gradiente seco (Seoáñez, 2002).

Aunque la distribución de la humedad es también un factor determinante, el equilibrio atmosférico (estabilidad o inestabilidad) depende en gran parte de la distribución vertical de la temperatura.

- En ambiente seco, gradiente  $> 0,7 - 0,8$  °C indican inestabilidad.
- En ambiente húmedo, gradientes  $> 0,6 - 0,7$  °C indican inestabilidad.
- En ambiente seco, gradientes  $< 0,7$  °C indican estabilidad.
- En ambiente húmedo, gradientes  $< 0,6$  °C indican estabilidad.

Al subir una partícula de aire, se enfría; al bajar, se calienta. Esto ocurre puesto que la presión desciende al subir la partícula, por lo que esta se dilata.

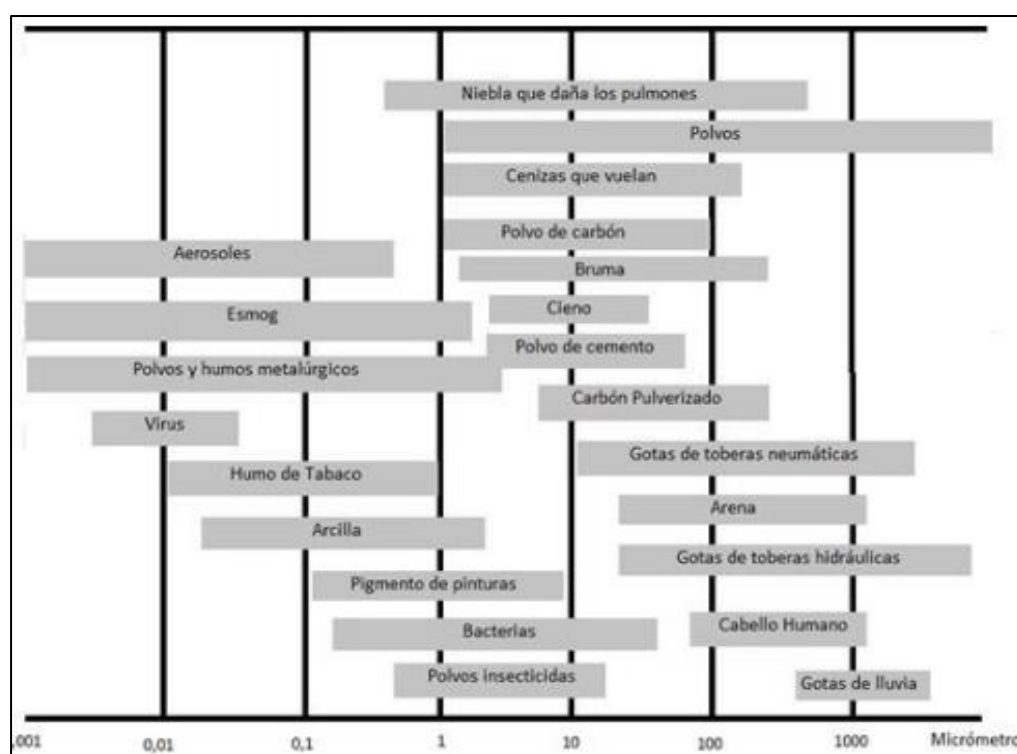
Cuando baja la partícula, la presión aumenta y la comprime, calentándola (Seoáñez, 2002).

- **Distribución de las partículas.**

Las características comunes de las partículas son ocho: tamaño, distribución de tamaños, forma, densidad, adhesividad, corrosividad, reactividad y toxicidad. La más



importante es la distribución de tamaños. Por lo general, como medida del tamaño se utiliza el diámetro aerodinámico de las partículas. Esta dimensión se mide comúnmente en micrómetros ( $10^{-6}$  m). La unidad de medida mencionada recibe también el nombre de micra. Es muy adecuada para la descripción de la contaminación por partículas, porque los diámetros de muchos de estos corpúsculos que permanecen suspendidos en el aire e implican peligro— varían de 0,1 a 10  $\mu\text{m}$ . Las partículas mayores tienden a asentarse rápidamente, por lo cual no causan graves afecciones a la salud humana; como se muestra en la siguiente figura (Baird & Cann, 2014).



**Figura 3.** Distribución de partículas en el aire, medidas en micrómetros. (Fuente: Baird & Cann, 2014)

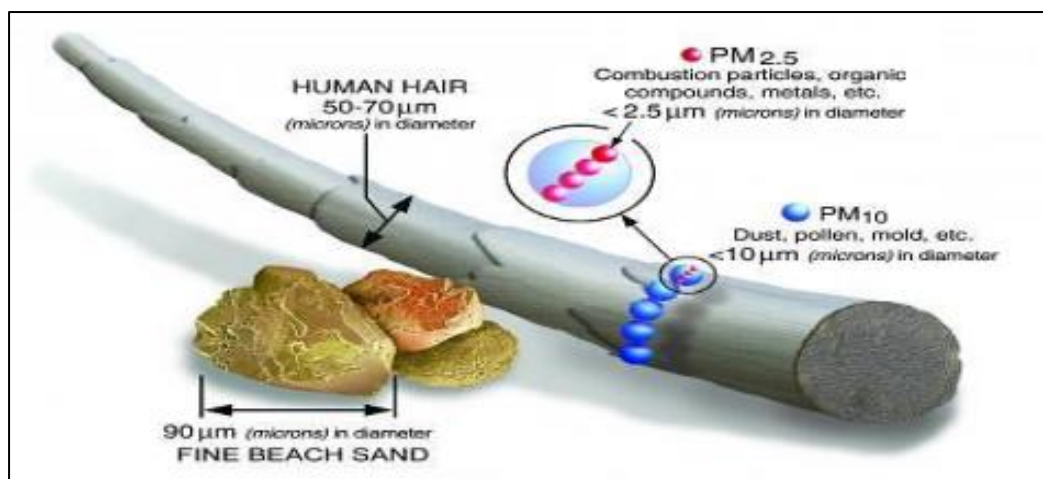
- **Clasificación de las partículas suspendidas en el aire.**

Aunque pocas de las partículas suspendidas en el aire son de forma exactamente esférica, es conveniente y convencional considerar que todas ellas lo fueran. El diámetro mayor de las partículas es su propiedad más importante. A partir de esta equivalencia a licencia poética se denomina «PM<sub>10</sub>» a las partículas de diámetros inferiores a 10  $\mu\text{m}$ , y «PM<sub>2,5</sub>» a las de diámetros inferiores a 2,5  $\mu\text{m}$ .

Cualitativamente las partículas individuales se clasifican como:

- Gruesas, las de diámetros superiores a  $2,5\ \mu\text{m}$ .
- Finas, las de diámetros inferiores a  $2,5\ \mu\text{m}$  (Baird & Cann, 2014).

El material particulado respirable presente en la atmósfera de las ciudades en forma sólida o líquida (polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen, entre otras), la fracción respirable más pequeña,  $\text{PM}_{2,5}$  está constituida por aquellas partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a los 2,5 micrómetros, es decir, son 100 veces más delgadas que un cabello humano (Agencia de Protección Ambiental, 2004).



**Figura 4.** Clasificación del material particulado en la atmósfera urbana. (Fuente: [www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics](http://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics))

Se tiene además que el tamaño no es la única diferencia, siendo que cada tipo de partículas está compuesto de diferente material y puede provenir de diferentes fuentes. Para el caso de las  $\text{PM}_{2,5}$  su origen está principalmente en fuentes de carácter antropogénico como las emisiones de los vehículos diésel, mientras que las partículas de mayor tamaño pueden tener en su composición un importante componente de tipo natural, como partículas de polvo procedente de las intrusiones de viento del norte de África (polvo sahariano), frecuente teniendo en cuenta las latitudes (Agencia de Protección Ambiental, 2004).

- **Estándares de calidad del aire para  $\text{PM}_{2,5}$  Y  $\text{PM}_{10}$**

Las pruebas relativas al material particulado (MP) suspendido en el aire y sus efectos en la salud pública coinciden en poner de manifiesto efectos adversos para la salud con las exposiciones que experimentan actualmente las poblaciones urbanas, tanto en los países desarrollados como en desarrollo. El abanico de los efectos en la salud

es amplio, pero se producen en particular en los sistemas respiratorio y cardiovascular (OMS, 2005a).

“**Decreto Supremo N-003-2017-MINAM**”, mediante la mencionada norma se aprobaron los entandares de calidad ambiental (ECA) para el aire, que como anexo forman parte del decreto supremo. Los ECA para el aire representan un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, a cargo de los titulares de actividades, extractivas y servicios.

**Tabla 2**

*Estándares de calidad ambiental de aire para material particulado*

Parámetros	Periodo	Valor [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
<b>Material Particulado con diámetro menor a 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>)</b>	Anual	25
	24 horas	50
<b>Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>)</b>	Anual	50
	24 horas	100

Fuente: (MINAM, 2017)

- **Efectos de las partículas en el aire sobre la salud humana**

Las partículas, solas o en combinación con otros contaminantes representan un peligro muy grave para la salud. Los contaminantes entran principalmente al cuerpo humano por las vías respiratorias. Los daños a los órganos respiratorios pueden presentarse directamente, ya que se ha estimado que más del 50% de las partículas entre 0.01 y 0.1  $\mu\text{m}$  que penetran a las cavidades pulmonares se depositaran allí.

Las partículas pueden tener un efecto toxico de una o más de las tres maneras siguientes:

1. La partícula puede ser intrínsecamente tóxica debido a sus características inherentes químicas y/o físicas.
2. La partícula puede interferir con uno o más de los mecanismos que despejan usualmente el aparato respiratorio.
3. La partícula puede actuar como un conductor a una sustancia toxica absorbida.

Es extremadamente difícil obtener una relación directa entre la exposición a varias concentraciones de partículas y los efectos resultantes sobre la salud del hombre siendo muy importante la longitud de tiempo de exposición (Wark & Warner, 2012).

Los efectos de las PM sobre la salud se producen a los niveles de exposición a los que está sometida actualmente la mayoría de la población urbana y rural de los países desarrollados y en desarrollo. La exposición crónica a las partículas aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como del cáncer de pulmón. Las partículas resultan penetrándose en los pulmones, los bloquean y evitan el paso del aire, lo cual conlleva:

- Deterioro de los sistemas respiratorio y cardiovascular
- Alteración de los sistemas de defensa del organismo contra materiales extraños
- Daños al tejido pulmonar
- Carcinogénesis
- Mortalidad prematura

Las personas más sensibles son quienes padecen afecciones pulmonares o cardiovasculares crónicas obstructivas, influenza o asma, así como los ancianos y los niños (OMS, 2005b).

- **Efectos del material particulado en el medio ambiente**

Entre los efectos de la materia particulada en el medio ambiente se tiene a la corrosión acelerada de los metales, daños a las pinturas, esculturas y superficies expuestas al suelo de las estructuras construidas por el hombre. La magnitud de los daños depende mucho de las propiedades físicas y químicas de las partículas, las cuales también pueden modificar el clima mediante la formación de nubes y nieve. Las partículas contribuyen también a la deposición ácida y pueden llegar a absorber radiación solar e impedir o reducir la visibilidad (Sánchez, 2011).

### **1.3. Definición de términos básicos**

- **Capa de mezcla.** - Porción de la capa fronteriza más próxima al suelo, en la que la estratificación es con frecuencia indiferente o inestable y la mezcla vertical tiene lugar fácilmente. Intuitivamente, su espesor (mixing depth) se podría comparar con la altura hasta la cual se dispersan los contaminantes (Puigcerver & Dolors, 2008).

- **Contador de partículas.** - Unidades de medición ambiental móviles para medir la calidad del aire en espacios interiores, comprobar la eficiencia y la hermeticidad de filtros para sustancias en suspensión o HVAC así como para controlar la limpieza técnica en la tecnología de procedimientos. (*thermographic.weebly.com*).
- **Contaminantes primarios.** - Son los que ingresan en la atmosfera como tales contaminantes. Ejemplos son el dióxido de azufre SO<sub>2</sub> y el óxido de nitrógeno NO (Puigcerver & Dolors, 2008).
- **Contaminantes secundarios.** - No entran directamente a la atmosfera, sino que se forman en ella mediante reacciones químicas de los contaminantes primarios con los gases atmosféricos, o bien gases atmosféricos entre sí con intervención de otros Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, amos solubles (a diferencia de los demás sulfatos); y en presencia de partículas calcáreas de obtiene sulfato cálcico, solido e insoluble, de manera que el contaminante que ingreso en la atmosfera como gas puede terminar su vida como partícula solida o gotícula de solución (Puigcerver y Dolors, 2008).
- **Dirección del viento.** - Determina el área hacia donde se pueden desplazar los contaminantes emitidos.
- **Estándares de calidad ambiental ECA.** – Se define como la concentración o del grado de elemento, sustancia o parámetros físicos, químicos y biológicos, en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente (OMS, 2005a)
- **Fuentes naturales de contaminantes.** - Se entiende por fuente de un contaminante el lugar donde o el proceso mediante el cual aquel se produce y es inyectado en la atmosfera. La cantidad de contaminantes emitidos por fuentes naturales es superior a la de las antropogénicas. Las cuales son las erupciones volcánicas, las tempestades de polvo o arena, incendios forestales, erosión de tierras y rocas, aerosoles formados por las aguas marinas, de ríos o de lagos, fermentación anaeróbica y polinización de plantas (Puigcerver & Dolors, 2008).

- **Fuentes antropogénicas de contaminantes.** - Se concentran básicamente en los países desarrollados y, dentro de estos, en zonas densamente pobladas o industrializadas. Entre las fuentes artificiales hay que mencionar la generación de energía, los medios de transporte (automóviles, ferrocarriles, buques, aviones) y de los procesos industriales y domésticos (Puigcerver & Dolors, 2008).
- **Gradiente vertical de Temperatura.** - Variación de la temperatura con la altura. La temperatura disminuye de forma constante conforme aumenta la altura de la troposfera, a razón de  $0.65\text{ }^{\circ}\text{C}$  cada 100 m (Seoánez, 2002).
- **Gradiente adiabático seco.** - variación de temperatura que experimentan las masas de aire en movimiento vertical, bajo una atmósfera seca (Seoánez, 2002).
- **Humedad Atmosférica.** - Cantidad o volumen de vapor de agua que se encuentra en la atmósfera, que es función de la temperatura y de la presión. La principal fuente de humedad en el aire proviene de la superficie de los océanos y mares, lugares donde el agua se evapora constantemente. Otras fuentes de humedad atmosférica provienen de lagos, glaciares y ríos, así como de los procesos de evapotranspiración del suelo, las plantas y los animales (Seoánez, 2002).
- **Inversión térmica.** - Fenómeno en el cual la temperatura aumenta con la altura, lo cual impide el ascenso del aire situado abajo (más frío y por tanto más denso) hacia las partes más altas (Seoánez, 2002).
- **Material particulado (MP).** - Mezcla de partículas líquidas, sólidas o líquidas y sólidas suspendidas en el aire que difieren en tamaño, composición y origen. El tamaño de las partículas suspendidas en la atmósfera varía en más de cuatro órdenes de magnitud, desde unos pocos nanómetros a decenas de micrómetros (Agencia de Protección Ambiental, 2004).
- **Material particulado respirable.** - Partículas de diámetro aerodinámico menor a  $10\text{ }\mu\text{m}$  el cual representa una mezcla compleja de sustancias orgánicas e



inorgánicas. Estas partículas penetran a lo largo de todo el sistema respiratorio hasta los pulmones, produciendo irritaciones e incidiendo en diversas enfermedades. De acuerdo con la masa y composición se tienden a dividir en dos grupos principales, MP grueso, de mayor a 2,5  $\mu\text{m}$  y menor a 10  $\mu\text{m}$  y MP Fino menor a 2,5  $\mu\text{m}$ , existiendo también el denominado MP ultrafino de alrededor de 0,1  $\mu\text{m}$  (Agencia de Protección Ambiental, 2004).

- **Material Particulado ( $\text{PM}_{2,5}$ ).** – Hace referencia a partículas con menos de 2,5  $\mu\text{m}$  de diámetro las cuales se conocen comúnmente como partículas finas y contienen aerosoles secundarios, partículas de combustión y vapores metálicos y orgánicos recondensados, así como componentes ácidos. Las partículas finas pueden llegar hasta los alvéolos pulmonares (Sánchez, 2011).
- **Material Particulado ( $\text{PM}_{10}$ ).** – Aquellas partículas con menos de 10  $\mu\text{m}$  de diámetro, se conocen comúnmente como partículas gruesas y contienen polvo proveniente de los caminos y las industrias, así como partículas generadas por la combustión. Teniendo en consideración su tamaño, las partículas gruesas pueden alojarse en la tráquea (parte superior de la garganta) o en los bronquios (Sánchez, 2011).
- **Partículas.** - Consisten en una compleja mezcla de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire. Son un indicador representativo común de la contaminación del aire. Afectan a más personas que cualquier otro contaminante. Los principales componentes de las PM son los sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro de sodio, el hollín, los polvos minerales y el agua (Organización Mundial de la Salud, 2018a).
- **Partículas en suspensión.** - Son partículas presentes en el aire de diversa índole puede ser producido por acción natural, por actividades humanas o una combinación de ambos (Agencia de Protección Ambiental, 2004).
- **Polución del aire.** – Se define como la presencia de una o más sustancias en el aire, que tienen efectos negativos en humanos, animales y plantas, y en la calidad

del aire. Las sustancias que cambian la composición del aire negativamente y aquellas que causan molestias son llamadas contaminación del aire. Los principales causantes de la contaminación del aire son los óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs) y pequeñas partículas de polvo (Agencia de Protección Ambiental, 2004).

- **Temperatura Atmosférica.** - Nivel de calor que tiene el aire en un sitio determinado y en un momento específico. Este valor forma parte de los elementos que componen el clima, al igual que las precipitaciones, la humedad, el viento y la presión (Pérez & Gardey, 2014).
- **Turbulencia.** - Es el resultado de dos aspectos específicos: a) el calentamiento atmosférico, que es causa de las corrientes de convección naturales ( $dp/dz$ ) y b) la turbulencia “mecánica”, que es el resultado de los esfuerzos cortantes del viento ( $du/dz$ ). Incluye usualmente fluctuaciones que tienen una frecuencia de más de 2 ciclos/h. las fluctuaciones más importantes tienen frecuencia en el rango de 1 a 0.01 ciclos/s (Wark & Warner, 2012).
- **Presión Atmosférica.** - Peso de la capa de aire que rodea la tierra, debido a la atracción que ejerce la fuerza de la gravedad sobre las moléculas de los distintos gases que lo componen. Disminuye con la altura, ya que según se asciende, la capa de aire que queda por encima va siendo cada vez menor (Seoáñez, 2002).
- **Viento.** - Corriente de aire que se produce en la atmósfera por causas naturales. El viento, por lo tanto, es un fenómeno meteorológico originado en los movimientos de rotación y traslación de la Tierra (Pérez & Gardey, 2010).
- **Velocidad del viento.** - Determina una mayor o menor rapidez en la dispersión de los contaminantes.

## **CAPÍTULO II**

### **MATERIAL Y MÉTODO**

#### **2.1. Material**

Medios de transporte	: Vehículos para transporte terrestre (moto lineal).
Equipos	: Equipo digital electrónico TROTEC PC200, altímetro digital, cámara fotográfica, computadora portátil – laptop, calculadora científica.
Formatos	: Plano de ubicación del área de estudio, etiquetas para ubicación de puntos de muestreo, formato de registro de datos.
Indumentaria de protección	: Casco de seguridad, zapatos de seguridad, pantalón largo, camisa manga larga, capas impermeables.
Otros materiales	: Libreta de campo, tablero plastificado, USB, material de escritorio (medio millar de papel bom A4 de 75 gr., plumones, lapiceros, etc.)

#### **2.2. Métodos**

Se tomaron en total 12 puntos de muestro, 11 de ellos se distribuyeron equitativamente cada 50m y un último punto ubicado en la cima a 35m del penúltimo punto de muestreo. En cada una de las unidades muestrales se registró la cantidad de partículas y se determinó en gabinete el nivel de concentración de material particulado respirable  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ .

**Tabla 3***Ubicación de puntos de muestreo (Ver mapa N° 1)*

<b>Puntos de muestreo</b>	<b>Altitud (msnm)</b>
<b>1</b>	900,0
<b>2</b>	950,0
<b>3</b>	1000,0
<b>4</b>	1050,0
<b>5</b>	1100,0
<b>6</b>	1150,0
<b>7</b>	1200,0
<b>8</b>	1250,0
<b>9</b>	1300,0
<b>10</b>	1350,0
<b>11</b>	1400,0
<b>12</b>	1435,0

**2.2.2. Instrumentos de recolección de datos****— Equipo digital electrónico TROTEC PC200**

Es un instrumento manual de medición para la monitorización de partículas en el aire, cuenta con 6 canales para la medición de partículas de 0,3  $\mu\text{m}$ , 0,5  $\mu\text{m}$ , 1,0  $\mu\text{m}$ , 2,5  $\mu\text{m}$ , 5,0  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ .

**Tabla 4***Datos técnicos del equipo del equipo digital electrónico TROTEC PC200*

<b>Contador de partículas TROTEC PC200</b>	
<b>Canales</b>	6
<b>Número de canales</b>	0,3 $\mu\text{m}$ , 0,5 $\mu\text{m}$ , 1,0 $\mu\text{m}$ , 2,5 $\mu\text{m}$ , 5,0 $\mu\text{m}$ , 10,0 $\mu\text{m}$
<b>Eficiencia de la cuenta</b>	50 % a 0,3 $\mu\text{m}$ ; 100 % para partículas > 0,45 $\mu\text{m}$
<b>Caudal de medición</b>	2,83 l/min (0,1 ft <sup>3</sup> /min), control mediante bomba interna
<b>Fuente de luz</b>	Láser clase 3B, longitud de onda 780 nm, 90 mW
<b>Entrada de muestra</b>	Sonda isocinética
<b>Perdida de coincidencia</b>	5 %, 2 millones de partículas por ft <sup>3</sup> (28,3 litros)

Fuente: thermographic.weebly.com



**Figura 5:** Equipo digital electrónico TROTEC PC200

### **Altímetro digital**

Para la determinación de los puntos de muestreo se usó un altímetro digital que permitió definir con precisión y equitativamente los puntos de muestreo teniendo en cuenta las curvas de nivel.



**Figura 6:** Altímetro digital

### **Ficha de toma de datos**

Para el registro de los datos de los parámetros monitoreados que se tomaron en el área de estudio se hizo uso de una ficha de toma de datos (ver anexo 2).

## **2.2.3. Descripción de las características generales del ámbito de estudio**

Para la caracterización de los aspectos climatológicos:

- ✓ Se hizo uso de datos de temperatura, precipitación y humedad relativa de los últimos 3 años de los meses de febrero, marzo y abril de la página web del SENAMHI debido a que esta institución no registro datos a partir del 16 de marzo, asimismo con respecto a los datos anteriormente mencionados y, de dirección y velocidad del viento se tomaron los registrados por la empresa Stevia One Perú SAC, de los mismos años y meses estudiados.
  - ✓ Para el análisis se hizo uso del software ArcGIS para temperatura, precipitación y humedad, y para el análisis de los datos de velocidad y dirección del viento el software WRPLOT View.
  - ✓ Además, también se usó el programa Excel para la representación mediante tablas a fin de facilitar el análisis.
- Para la caracterización de aspectos físicos:
- ✓ Se hizo uso de la base de datos de la Zonificación Ecológica Económica de San Martín (2007) con respecto a geología, geomorfología, suelos y se utilizó el software ArcGIS.
  - ✓ Para el caso de zonificación forestal se utilizó la información proporcionada por la Autoridad Regional Ambiental de San Martín a través de su geo portal del IDERSAM.
- Caracterización de las fuentes de generación de material particulado
- ✓ Para el desarrollo de este apartado se tuvo en cuenta lo evidenciado mediante la observación directa en campo en los días de muestreo, considerando lo mostrado en la tabla N° 8.

#### **2.2.4. Determinación de la concentración de material particulado respirable $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$**

El equipo utilizado en la investigación permitió la obtención de material particulado respirable de ambos parámetros en cantidades, motivo por el cual para determinar la concentración se hizo uso de la siguiente formula teniendo en cuenta primero a los siguientes datos básicos:

- Caudal de medición del equipo que es igual a 2,83 l/m

- Cantidad de partículas, cuyos datos fueron proporcionados por el equipo digital electrónico TROTEC PC200.
- Peso de material particulado respirable PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> en microgramos que es de  $1,315789474 \times 10^{-8}$  gramos para PM<sub>10</sub> y de  $3,2894748685 \times 10^{-9}$  gramos para PM<sub>2,5</sub>, según (Viena, 2018).

Una vez obtenidos todos los datos básicos se procedió a calcular la concentración de la siguiente manera:

1. Teniendo en cuenta que los ECA para aire establecen que el periodo de monitoreo es de 24 horas lo primero que se realizó es la conversión del caudal de medición de 2,83 l/m a m<sup>3</sup>/día, la cantidad de partículas de minuto a día y el peso de las partículas de gramos a microgramos, de la siguiente manera:

- ✓ Caudal de medición (m<sup>3</sup>/día) =  $2,83 \text{ l/min} \times 1 \text{ m}^3/1000 \text{ l} \times 1440 \text{ min/ 1 día} = 4,0752 \text{ m}^3/\text{día}$
- ✓ Cantidad de partículas/día = cantidad de partículas/min x 1440 min/1 día
- ✓ Peso de partícula de PM<sub>2,5</sub> (ug) =  $3,2894748685 \times 10^{-9} \text{ gr} \times (1000000 \text{ ug/1gr}) = 0,0032894748685 \text{ ug}$
- ✓ Peso de partícula de PM<sub>10</sub> (ug) =  $1,315789474 \times 10^{-8} \text{ gr} \times (1000000 \text{ ug/1gr}) = 0,01315789474 \text{ ug}$

2. Luego se procedió a determinar la concentración de material particulado que es igual a:

- Para PM<sub>2,5</sub>

$$\text{Concentración (ug/m}^3\text{)} = \text{masa/volumen}$$

$$\text{*Masa} = \text{masa de PM}_{2,5} \text{ (ug) } \times \text{cantidad de material particulado muestreado (día)}$$

$$\text{*Volumen} = \text{m}^3$$

- Para PM<sub>10</sub>:

$$\text{Concentración (ug/m}^3\text{)} = \text{masa/volumen}$$

$$\text{*Masa} = \text{masa de PM}_{10} \text{ (ug) } \times \text{cantidad de material particulado muestreado.}$$

$$\text{*Volumen} = \text{m}^3$$

### 2.2.5. Análisis y sistematización de las concentraciones de material particulado respirable PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>

- \_ Se ha tenido a bien agrupar en una sola tabla los resultados de cada 2 puntos de muestreo subdividiendolos en dos etapas (primera etapa, desde el 08 de febrero hasta el 15 de marzo del 2020 y segunda etapa, desde el 20 de marzo hasta el 25 de abril del 2020) representando los resultados mediante figuras de líneas para un mejor análisis e interpretación.
- \_ Para desarrollar el apartado de distribución de las concentraciones promedios de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>, se subdividió también en dos etapas, analizando por cada uno mediante figuras de línea la distribución vertical y las concentraciones promedios de material particulado respirable.
- \_ Para la comparación de los resultados de concentraciones con el DS N°-003-2017-MINAM (Ver tabla N° 2), se realizó mediante figuras de barra agrupando cada parámetro de ambas etapas en una sola representación.

### 2.2.6. Análisis de la diferencia significativa entre la altura y las concentraciones de material particulado respirable PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>

Para evaluar la relación entre la variable altura y la concentración de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>, se ha tenido a bien agrupar las concentraciones promedio de ambas etapas en uno solo es decir por los 3 meses de estudio y encontrar la relación de cada parámetro mediante diferencia de medias y el estadístico prueba de t de student.

- \_ Primero para completar la tabla N° 30 y 31 se determinó la diferencia de medias de ambos parámetros restando la concentración superior menos la concentración del punto de muestreo inferior, asimismo se encontró  $\Sigma(D_i - \bar{D})^2$  restando cada diferencia de medias menos el promedio de la diferencia del mismo.
- \_ Luego se procedió a determinar la prueba de significancia de la siguiente manera:

- ✓ Primero se calculó la desviación estándar ( $S_d$ ) que es igual a:

$$S_d = \sqrt{\frac{\Sigma(D_i - \bar{D})^2}{n - 1}}$$

- ✓ Luego se procedió a calcular la t de student de la siguiente manera:



$$T = \frac{\bar{D}}{s_d/\sqrt{n}}$$

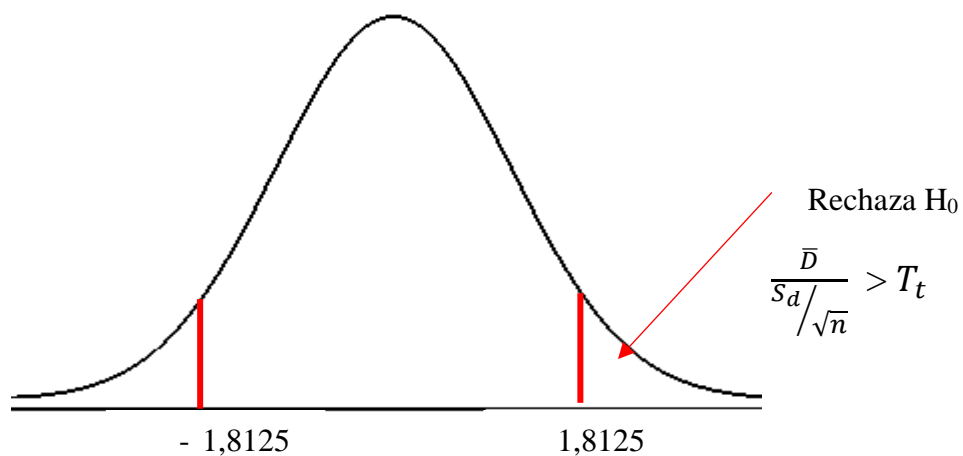
✓ Se estableció la regla de decisión que es:

$H_0: u = 0$                        $H_1: u \neq 0$

Rechazar  $H_0 : u_d = 0$  a favor de  $H_1 : u_d \neq 0$ ; cuando  $\frac{\bar{D}}{s_d/\sqrt{n}} > T_t$

Donde:  $T_t = 1,8125$ , al 95% de confianza con 10 grados de libertad.

Observación: El procedimiento mencionado se desarrolló para ambas concentraciones (  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ ) en relación a la distribución espacial vertical.



**Figura 7:** Prueba de significancia

## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. Características generales del ámbito de estudio**

##### **3.1.1. Ubicación geográfica**

El morro de Calzada es un cerro que tiene unos 575 m de altura y está a una altitud de 1 435 m.s.n.m, se encuentra en la llanura del valle del río Mayo emplazado en el distrito de Calzada, provincia de Moyobamba, en la Región San Martín, zona 18 S de coordenadas 274128,13 m E y 9334414,04 m S. (Ver mapa N° 2)

Entre sus límites se encuentran:

- Por el norte: Distrito de Yantaló.
- Por el sur: Distrito de Habana.
- Por el este: Distrito de Moyobamba (Río Indoche).
- Por el oeste: Distrito de Calzada y Rioja.

##### **3.1.2. Caracterización de aspectos climatológicos**

Para la caracterización climatología se presentan parámetros principales que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del proyecto, los registros fueron obtenidos de la base de datos de la estación ubicado en el fundo de la empresa Stevia One Perú SAC en el distrito de Calzada en cuanto a dirección y velocidad de viento, datos de precipitación, temperatura y humedad relativa las mismas que también fueron tomadas de las estaciones de Moyobamba, Rioja y Soritor del SENAMHI.

##### **— Temperatura**

Para un mejor análisis de la temperatura promedio en el área de estudio y alrededor de este se ha tenido a bien analizar datos proporcionadas por las 4 estaciones más cercanas al área de los 3 meses de estudio (febrero, marzo y abril) de los años 2017, 2018 y 2019, la representación de los datos se realizó a través de tabla y un mapa de temperatura para mejor visualización e interpretación de toda la zona en el cual los parámetros pueden influenciar en la distribución del material particulado respirable.

**Tabla 5**

*Temperatura promedio de febrero, marzo y abril de los años de 2017, 2018 y 2019*

Año	Enero	Calzada	Moyobamba	Rioja	Soritor
2019	Febrero	22,57	23,72	24,06	23,18
2019	Marzo	22,80	24,14	24,58	23,42
2019	Abril	22,98	24,26	24,88	23,58
2018	Febrero	23,36	23,36	23,47	22,98
2018	Marzo	23,22	23,44	23,95	23,22
2018	Abril	23,30	23,71	24,03	23,17
2017	Febrero	23,47	23,80	24,07	23,43
2017	Marzo	23,76	23,60	23,94	23,35
2017	Abril	23,87	24,00	24,33	23,51
$\bar{x}$		23,26	23,78	24,14	23,32

Fuente: SENAMHI, Stevia One Perú SAC.

De la tabla se puede evidenciar de acuerdo a los datos proporcionados por las estaciones que la mayor temperatura promedio de los últimos 3 años en los meses de estudio lo registra la estación de Rioja (24,14 °C) y la menor temperatura promedio lo registra la estación de Stevia ubicado en Calzada (23,26 °C), lo cual mediante el mapa N° 3 (Mapa de temperatura), el área de estudio (Morro de Calzada) y toda la zona aledaña a este registra una temperatura promedio entre 23,23 °C y 23,53 °C solo en los meses de febrero, marzo y abril.

### **Precipitación**

Para un mejor análisis de la precipitación en el área de estudio y alrededor de este se ha tenido a bien analizar datos proporcionadas por las 4 estaciones más cercanas al área de los 3 meses de estudio (febrero, marzo y abril) de los años 2017, 2018 y 2019, la representación de los datos se realizó a través de tabla y un mapa de precipitación para mejor visualización e interpretación de toda la zona en el cual este parámetro puede influenciar en la distribución del material particulado respirable.

**Tabla 6***Precipitación de febrero, marzo y abril de los años de 2017, 2018 y 2019*

Año	Enero	Calzada	Moyobamba	Rioja	Soritor
2019	Febrero	141,8	271,7	254,5	243,6
2019	Marzo	111,8	123,0	90,2	108,2
2019	Abril	123,6	92,7	93,8	134,8
$\Sigma$		377,2	487,4	438,5	486,6
2018	Febrero	186,8	130,2	147,3	257,2
2018	Marzo	90,2	150,5	144,6	201,8
2018	Abril	135,2	128,9	225,2	146,4
$\Sigma$		412,2	409,6	517,1	605,4
2017	Febrero	188,4	241,1	305,2	230,2
2017	Marzo	206,4	103,3	154,5	286,5
2017	Abril	124,4	41,5	101,5	155,3
$\Sigma$		519,2	385,9	561,2	672,0
$\bar{x}$		436,2	427,6	505,6	588,0

Fuente: SENAMHI, Stevia One Perú SAC.

De la tabla se pueden evidenciar de acuerdo a los datos proporcionados por las estaciones la mayor precipitación promedio de los últimos 3 años en los meses de estudio lo registra la estación de Soritor (588,0mm) y la menor precipitación promedio lo registra la estación de Moyobamba (427,6mm), lo cual mediante el mapa N° 4 (Mapa de precipitación), el área de estudio (Morro de Calzada) y toda la zona aledaña a este registra una precipitación promedio entre 427,6mm y 459,7mm solo en los meses de febrero, marzo y abril.

### **Humedad relativa**

Para un mejor análisis de la humedad relativa en el área de estudio y alrededor de este se ha tenido a bien analizar datos proporcionadas por las 4 estaciones más cercanas al área de los 3 meses de estudio (febrero, marzo y abril) de los años 2017, 2018 y 2019, la representación de los datos se realizó a través de tabla y un mapa de humedad relativa para mejor visualización e interpretación de toda la zona en el cual este parámetro puede influenciar en la distribución del material particulado respirable.

**Tabla 7***Humedad relativa de febrero, marzo y abril de los años de 2017, 2018 y 2019*

Año	Enero	Calzada	Moyobamba	Rioja	Soritor
2019	Febrero	84,00	85,79	85,56	83,94
2019	Marzo	83,76	84,45	84,36	82,31
2019	Abril	82,66	82,46	83,07	80,79
2018	Febrero	83,01	83,55	86,90	85,74
2018	Marzo	83,18	86,98	84,76	83,18
2018	Abril	78,92	84,22	83,02	83,72
2017	Febrero	83,50	84,31	86,68	83,43
2017	Marzo	84,52	86,81	86,98	83,46
2017	Abril	82,98	84,43	84,23	83,24
$\bar{x}$		82,95	84,78	85,06	83,31

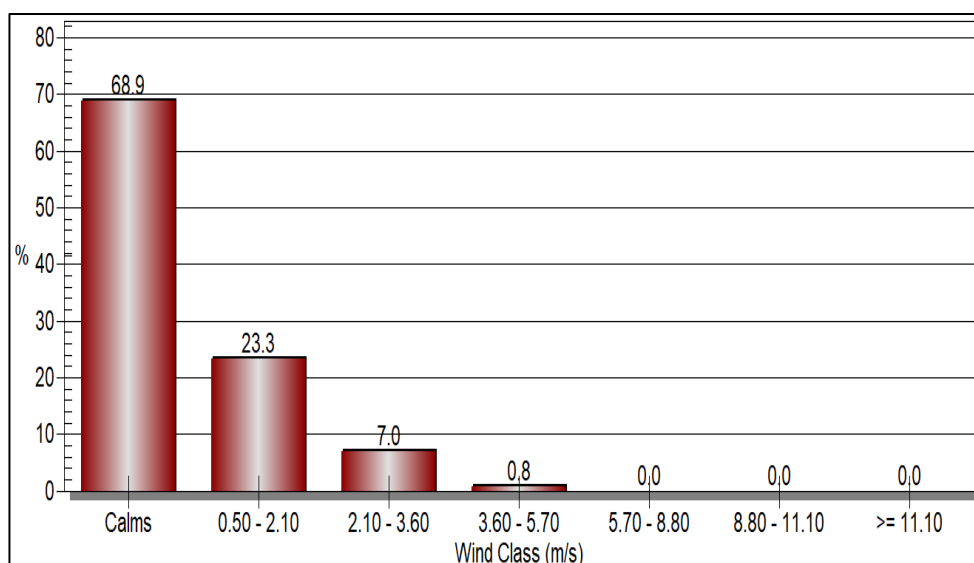
*Fuente: SENAMHI, Stevia One Perú SAC.*

De la tabla se pueden evidenciar de acuerdo a los datos proporcionados por las estaciones la mayor humedad relativa promedio de los últimos 3 años en los meses de estudio lo registra la estación de Rioja (85,06%) y la menor humedad relativa promedio lo registra la estación de Stevia ubicado en Calzada (82,95%), lo cual mediante el mapa N° 5 (Mapa de humedad relativa), el área de estudio (Morro de Calzada) y toda la zona aledaña a este registra una humedad relativa promedio entre 82,95% y 84,15% solo en los meses de febrero, marzo y abril.

#### **Dirección y velocidad del viento**

Debido a que las estaciones de Moyobamba, Rioja y Soritor no registran datos de velocidad y dirección del viento, se utilizó los datos proporcionados por la empresa Stevia One Perú SAC que en su momento de labores en el distrito de Calzada registro datos de estos parámetros, además teniendo en cuenta que la ubicación de esta estación es la más cercana al área de estudio y así permite conocer de una mejor manera la distribución de este parámetro en la zona, se tomaron datos de los meses de febrero, marzo y abril de los años 2017, 2018 y 2019 debido que a partir de setiembre del año 2019 se dejaron de registrar parámetros en la estación.

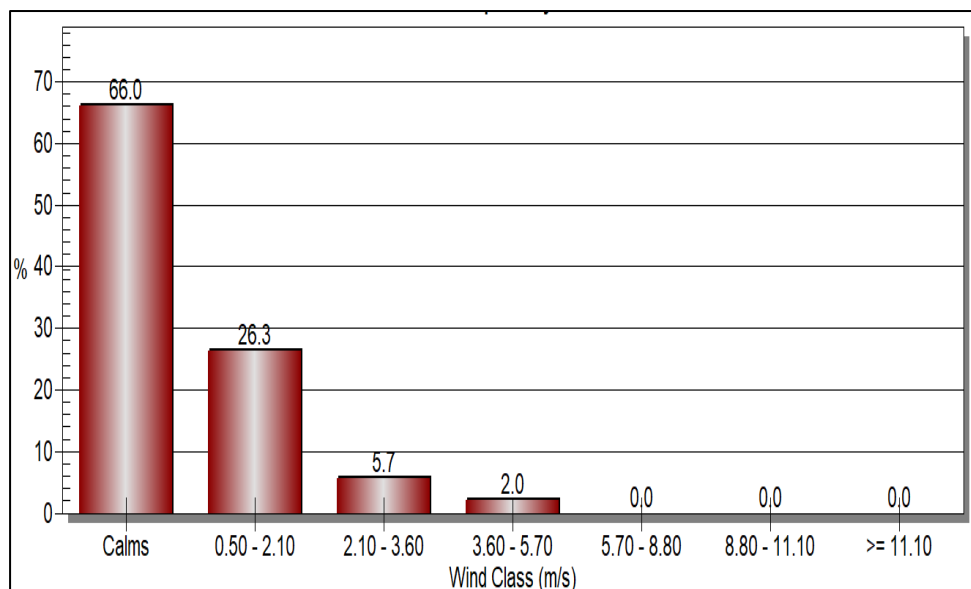
**Velocidad y dirección del viento en el mes de febrero de los años 2017, 2018 y 2019.**



**Figura 8:** Distribución de frecuencia de clase de viento del mes de febrero

De la figura y mapa N° 6 (Rosa de vientos del mes de febrero), se puede interpretar que teniendo en cuenta un total de 1284 hrs de datos, en este mes se registra una velocidad media del viento de 0,48m/s, llegando a alcanzar velocidades máximas de entre 3,60m/s y 5,70m/s (0,8%), además se registra un 68,9% de vientos tranquilos de velocidades menores a 0,5m/s, el 23,3% son vientos de velocidades entre 0,50m/s y 2,10m/s y el 7,0% vientos de velocidades entre 2,10m/s y 3,60m/s, por otro lado el vector de flujo mostrado en el mapa indica “soplando a” del cual se puede decir que durante este mes de estudio la mayor predominancia de dirección de vientos es hacia SE es decir que las actividades de emisión de material particulado que se desarrollan en la parte NO y N del área de estudio por los vientos son arrastrados hacia dicha zona, también se puede evidenciar que el viento tiene dirección en todos los sentidos por lo cual se puede decir que en todas las partes donde se desarrollan actividades la emisión del material particulado tiene incidencia en el área de estudio debido a la dirección del viento como se muestra en el mapa.

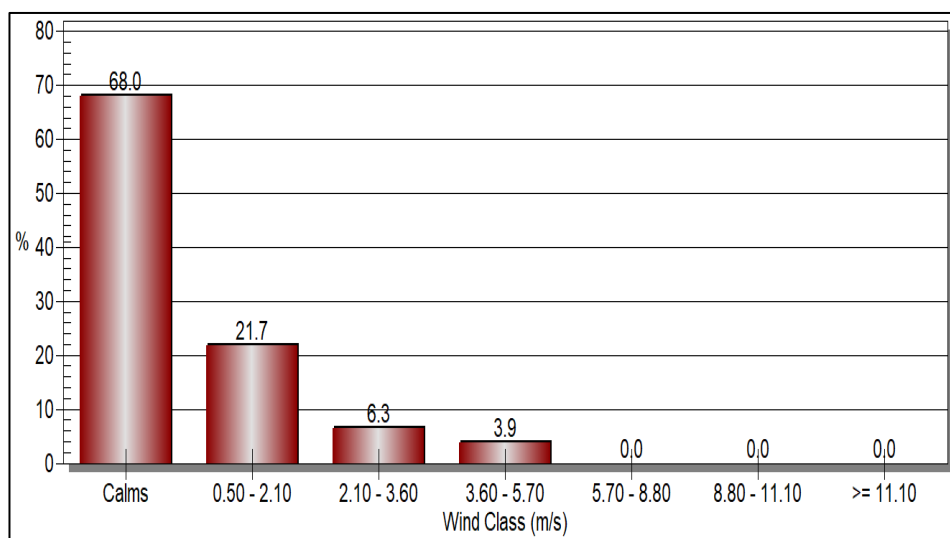
**Velocidad y dirección del viento del mes de marzo de los años 2017, 2018 y 2019.**



**Figura 9:** Distribución de frecuencia de clase de viento del mes de marzo

De la figura y mapa N° 6 (Rosa de vientos del mes de marzo), se puede interpretar que teniendo en cuenta un total de 165 6hrs de datos, en este mes se registra una velocidad media del viento de 0,54m/s, llegando a alcanzar velocidades máximas de entre 3,60m/s y 5,70m/s (2,0%), además se registra un 66,0% de vientos tranquilos de velocidades menores a 0,5m/s, el 26,3% son vientos de velocidades entre 0,50m/s y 2,10m/s y el 5,7% vientos de velocidades entre 2,10m/s y 3,60m/s, por otro lado el vector de flujo mostrado en el mapa indica “soplando a” del cual se puede decir que durante este mes de estudio la mayor predominancia de dirección de vientos es hacia SE, S y SO es decir que las actividades de emisión de material particulado que se desarrollan en la parte NO, N y NE del área de estudio por los vientos son arrastrados hacia dicha zona, también se puede evidenciar que el viento tiene dirección en todos los sentidos por lo cual se puede decir que en todas las partes donde se desarrollan actividades la emisión del material particulado tiene incidencia en el lugar debido a la dirección del viento como se muestra en el mapa.

### Velocidad y dirección del viento del mes de abril de los años 2017, 2018 y 2019.



**Figura 10:** Distribución de frecuencia de clase de viento del mes de abril

De la figura y mapa N° 6 (Rosa de vientos del mes de abril), se puede interpretar que teniendo en cuenta un total de 1544 hrs de datos, en este mes se registra una velocidad media del viento de 0,58m/s, llegando a alcanzar velocidades máximas de entre 3,60m/s y 5,70m/s (3,9%), además se registra un 68,0% de vientos tranquilos de velocidades menores a 0,5m/s, el 21,7% son vientos de velocidades entre 0,50m/s y 2,10m/s y el 6,3% vientos de velocidades entre 2,10m/s y 3,60m/s, por otro lado el vector de flujo mostrado en el mapa indica “soplando a” del cual se puede decir que durante este mes de estudio la mayor predominancia de dirección de vientos es hacia SE, S y SO pero con menores velocidades de viento, es decir que las actividades de emisión de material particulado que se desarrollan en la parte NO, N y NE del área de estudio por los vientos son arrastrados hacia dicha zona, también se puede evidenciar que el viento tiene dirección en todos los sentidos por lo cual se puede decir que en todas las partes donde se desarrollan actividades la emisión del material particulado tiene incidencia en el lugar debido a la dirección del viento como se muestra en el mapa.



### 3.1.3. Caracterización de aspectos físicos

#### – **Geología**

De acuerdo a la Zonificación Ecológica Económica de San Martín 2005 (Ver mapa N° 7), la geología presente en el área de estudio y zonas aledañas a este son las siguientes:

- ✓ **Grupo oriente**, presente principalmente en el área de estudio, constituido por areniscas cuarzosas y lutitas grises que sobreyacen a la formación Sarayaquillo.
- ✓ **Formación Sarayaquillo**, se presencia en zonas aledañas al área de estudio, constituida por una potente y monótona secuencia rojiza con interstratificación delgada de arenisca, arcillitas, lodolitas, limolitas y margas en estratos masivos, tabulares y fisibles, con abundante yeso vetiforme y nodulares.
- ✓ **Formación ipururo**, litológicamente su sección inferior se encuentra constituida por arcillitas rojizas calcáreas graduando a limolitas, que se intercalan con areniscas finas gris claras a verdosas y lechos calcáreos. En la sección media incluye margas grises, areniscas rojizas de grano fino a medio, arcillitas rojas calcáreas y sedimentos volcánicos. La sección superior, comprende areniscas claras de color pardo, marrón, rojo y grisáceo con estratificación cruzada y granos poco coherentes, las cuales se intercalan con arcillitas rojizas.
- ✓ **Depósitos fluviales**, ubicados en las riberas y en el fondo de los ríos, constituidos principalmente por gravas gruesas y finas, con arenas inconsolidados, y limoarcillitas.

#### – **Geomorfología**

De acuerdo a la Zonificación Ecológica Económica de San Martín 2005 (Ver mapa N° 8), la geomorfología presente en el área de estudio y zonas aledañas a este son las siguientes:

- ✓ **Montañas estructurales denudacionales**, propia del área de estudio, corresponde a sedimentos marinos y continentales de edades de formación, oscilan entre el Jurásico y terciario superior, pertenecientes a las formaciones Sarayaquillo (Jurásico superior), Grupo Oriente y Formación Chonta (Cretáceo).
- ✓ **Colinas estructurales denudacionales**, se presencia en zonas aledañas al área de estudio, está compuesto por sedimentos de las formaciones Yahuarango del Paleógeno-paleoceno, Chambira del Paleógeno-oligoceno e Ipururo del Neógeno-miocen. También presenta secuencias sedimentarias semiconsolidados del Pleistoceno.
- ✓ **Piedemonte aluvio coluvial**, su litología está representada por sedimentos de la Formación Ipururo, compuesta por areniscas gris a marrones, alternadas con niveles de lodolitas rojizas a marrones y conglomerados. También, está representada por los depósitos Pleistocénicos compuestos por conglomerados polimícticos, ligeramente consolidados; además de gravas, gravillas de naturaleza ígnea, areniscosa y pelítica (lutitas).
- ✓ **Valle de sedimentación fluvioaluvial**, están representadas por sedimentos recientes y subrecientes pertenecientes a los depósitos aluviales del Pleistoceno superior y Holoceno, compuestos principalmente por arenitas, gravas, gravillas, cantos rodados y angulosos (conglomerados polimícticos) de diferente naturaleza.

## — Suelos

De acuerdo a la Zonificación Ecológica Económica de San Martín 2005 (Ver mapa N° 9), los suelos presentes en el área de estudio y zonas aledañas a este son las siguientes:

- ✓ **Suelos Nipón I**, está conformada, predominantemente, con suelos de la serie Nipón I, que son muy superficiales, derivados de materiales residuales ácidos (areniscas cuarzosas) buen drenaje, de textura gruesa masiva y

friables. Luego cuando existe continúa un horizonte C, escaso espesor mezclado con gravas y gravillas de diferente grado de descomposición.

- ✓ **Suelo Moyobamba**, está conformada, predominantemente por suelos: de la serie Moyobamba, constituidas con suelos de matices pardo a pardo oscuro sobre rojo amarillento a amarillo rojizo; originados a partir de materiales residuales del Terciario, de naturaleza arcillosa – arenosa.
- ✓ **Suelo Habana**, se ubica en terrazas medias; de relieve plano (0 – 2%), está conformada predominantemente por los suelos de la serie Habana, agrupa suelos desarrollados a partir de materiales aluviales subrecientes que descansan sobre material residual. La capa superficial se caracteriza por presentar contenidos: altos de materia orgánica, bajos de Fosforo y Potasio disponibles respectivamente. La fertilidad natural de los suelos es baja.

#### — **Zonificación forestal**

De acuerdo a la zonificación forestal de la Autoridad Regional Ambiental el área de estudio presenta bosques de categoría III, además de ello se encuentran asociaciones vegetales no boscosas, bosques residuales o remanentes, zonas de producción agroforestal y silvopastoriles, y en su mayoría, en las zonas aledañas al área de estudio se encuentra la presencia de áreas agropecuarias. (Ver mapa N° 10).

#### **3.1.4. Fuentes de generación de material particulado**

Teniendo en cuenta la ubicación geográfica del área de estudio en la presente investigación se ha tenido a bien considerar las siguientes fuentes de generación de material particulado presentados en la siguiente tabla.

**Tabla 8***Fuentes de generación de material particulado respirable  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$* 

N°	Descripción	Clasificación
1	Vías de circulación	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Vías pavimentadas</li> <li>_ Vías no pavimentadas, avenidas y calles</li> </ul>
2	Medios de transporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Vehículos motorizados</li> </ul>
3	Actividades económicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Ladrilleras</li> <li>_ Piladoras de arroz</li> <li>_ Carpinterías</li> <li>_ Cocina a leña</li> <li>_ Agricultura</li> </ul>
4	Obras civiles	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Trabajos de mejoramiento de vías</li> <li>_ Construcción de viviendas</li> <li>_ Mejoramiento de calles</li> </ul>
5	Otros	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Vegetación</li> <li>_ Humedad atmosférica</li> <li>_ Incendios forestales</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia, 2020.

### 3.2. Determinación de la concentración de material particulado respirable $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$

El equipo utilizado en la investigación permitió la obtención de material particulado respirable de ambos parámetros en cantidades, motivo por el cual para determinar la concentración se hizo uso de la formula presentada en la metodología. Teniendo en cuenta las fechas de monitoreo se ha tenido a bien subdividir los resultados de los 3 meses de estudio en 2 etapas a raíz de la situación del país a partir del 16 de marzo, lo que permitió obtener resultados de concentración de material particulado respirable  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$  cuando las actividades se desarrollaban con total normalidad (1ra etapa) y cuando el estado peruano decreto el estado de emergencia en el país (2da etapa).

#### 3.2.1. Determinación de la concentración de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ en la 1ra etapa

Esta primera etapa comprende los monitoreos realizados los días sábados y domingos desde el 08 de febrero hasta el 15 de marzo del 2020, en el cual se tomó un total de 12 muestras en los 12 puntos establecidos en campo. Los resultados del proceso de determinación de la concentración de material particulado en  $ug/m^3$  por 24 horas se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 9**
*Determinación de la concentración de PM<sub>2,5</sub> en la 1ra etapa de estudio*

		Concentración de PM <sub>2,5</sub> (ug/m³)												
Altitud	Fecha de monitoreo	8-Feb	9-Feb	15-Feb	16-Feb	22-Feb	23-Feb	29-Feb	1-Mar	7-Mar	8-Mar	14-Mar	15-Mar	$\bar{x}$ (ug/m³)
900,0 m.s.n.m.	Cantidad de particulas/min	23	22	19	25	18	21	20	17	19	20	24	22	
	Cantidad de particulas/día	33120	31680	27360	36000	25920	30240	28800	24480	27360	28800	34560	31680	
	Concentración ug/m³	26,73	25,57	22,08	29,06	20,92	24,41	23,25	19,76	22,08	23,25	27,90	25,57	24,22
950,0 m.s.n.m.	Cantidad de particulas/min	20	23	17	25	17	20	21	18	18	20	22	20	
	Cantidad de particulas/día	28800	33120	24480	36000	24480	28800	30240	25920	25920	28800	31680	28800	
	Concentración ug/m³	23,25	26,73	19,76	29,06	19,76	23,25	24,41	20,92	20,92	23,25	25,57	23,25	23,34
1000,0 m.s.n.m.	Cantidad de particulas/min	22	23	18	23	17	18	20	17	15	15	19	19	
	Cantidad de particulas/día	31680	33120	25920	33120	24480	25920	28800	24480	21600	21600	27360	27360	
	Concentración ug/m³	25,57	26,73	20,92	26,73	19,76	20,92	23,25	19,76	17,44	17,44	22,08	22,08	21,89
1050,0 m.s.n.m.	Cantidad de particulas/min	23	21	15	24	15	16	18	16	15	15	17	16	
	Cantidad de particulas/día	33120	30240	21600	34560	21600	23040	25920	23040	21600	21600	24480	23040	
	Concentración ug/m³	26,73	24,41	17,44	27,90	17,44	18,60	20,92	18,60	17,44	17,44	19,76	18,60	20,44
1100,0 m.s.n.m.	Cantidad de particulas/min	20	13	12	19	16	16	17	14	15	13	16	15	
	Cantidad de particulas/día	28800	18720	17280	27360	23040	23040	24480	20160	21600	18720	23040	21600	
	Concentración ug/m³	23,25	15,11	13,95	22,08	18,60	18,60	19,76	16,27	17,44	15,11	18,60	17,44	18,02
1150,0 m.s.n.m.	Cantidad de particulas/min	14	12	13	20	14	13	15	12	14	13	14	13	
	Cantidad de particulas/día	20160	17280	18720	28800	20160	18720	21600	17280	20160	18720	20160	18720	
	Concentración ug/m³	16,27	13,95	15,11	23,25	16,27	15,11	17,44	13,95	16,27	15,11	16,27	15,11	16,18
1200,0 m.s.n.m.	Cantidad de particulas/min	16	10	11	17	13	13	12	11	13	12	12	11	
	Cantidad de particulas/día	23040	14400	15840	24480	18720	18720	17280	15840	18720	17280	17280	15840	
	Concentración ug/m³	18,60	11,62	12,79	19,76	15,11	15,11	13,95	12,9	15,11	13,95	13,95	12,79	14,63
1250,0 m.s.n.m.	Cantidad de particulas/min	14	9	10	16	10	13	10	9	13	10	11	10	
	Cantidad de particulas/día	20160	12960	14400	23040	14400	18720	14400	12960	18720	14400	15840	14400	
	Concentración ug/m³	16,27	10,46	11,62	18,60	11,62	15,11	11,62	10,46	15,11	11,62	12,79	11,62	13,08
1300,0 m.s.n.m.	Cantidad de particulas/min	9	9	7	12	11	10	11	7	9	10	8	9	
	Cantidad de particulas/día	12960	12960	10080	17280	15840	14400	15840	10080	12960	14400	11520	12960	
	Concentración ug/m³	10,46	10,46	8,14	13,95	12,79	11,62	12,79	8,14	10,46	11,62	9,30	10,46	10,85
	Cantidad de particulas/min	7	5	8	11	9	10	8	6	10	8	7	9	

1350,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/día	10080	7200	11520	15840	12960	14400	11520	8640	14400	11520	10080	12960	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	8,14	5,81	9,30	12,79	10,46	11,62	9,30	6,97	11,62	9,30	8,14	10,46	9,49
1400,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	6	6	7	11	8	8	6	7	8	6	7	6	
	Cantidad de partículas/día	8640	8640	10080	15840	11520	11520	8640	10080	11520	8640	10080	8640	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	6,97	6,97	8,14	12,79	9,30	9,30	6,97	8,14	9,30	6,97	8,14	6,97	8,33
1435,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	5	6	8	9	6	7	6	5	6	7	6	5	
	Cantidad de partículas/día	7200	8640	11520	12960	8640	10080	8640	7200	8640	10080	8640	7200	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	5,81	6,97	9,30	10,46	6,97	8,14	6,97	5,81	6,97	8,14	6,97	5,81	7,36

\*Observación: el peso de una partícula de PM<sub>2,5</sub> (0,0032894748685 ug) se utilizó para determinar todas las concentraciones, al igual que el volumen del equipo de medición que para 24 horas es de 4,0752m<sup>3</sup>/día.

\_ A raíz de los datos de cantidad de partículas obtenidos en campo y trabajados en gabinete permiten demostrar que en esta etapa las concentraciones determinadas en los puntos más bajos son mayores a las concentraciones de los puntos de muestreo más altos, es decir a mayor altitud menor concentración de material particulado respirable PM<sub>2,5</sub>. La mayor concentración promedio determinado de las 12 tomas de muestras fue de 24,22 ug/m<sup>3</sup> (900,0 m.s.n.m.) y la menor concentración fue de 7,36 ug/m<sup>3</sup> (1435,0 m.s.n.m.).

**Tabla 10**

*Determinación de la concentración de PM<sub>10</sub> en la 1ra etapa de estudio*

Altitud	Fecha de monitoreo	Concentración de PM <sub>10</sub> (ug/m <sup>3</sup> )												$\bar{x}$ (ug/m <sup>3</sup> )
		8-Feb	9-Feb	15-Feb	16-Feb	22-Feb	23-Feb	29-Feb	1-Mar	7-Mar	8-Mar	14-Mar	15-Mar	
900,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	10	9	9	12	8	9	11	7	9	10	10	8	
	Cantidad de partículas/día	14400	12960	12960	17280	11520	12960	15840	10080	12960	14400	14400	11520	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	46,49	41,84	41,84	55,79	37,20	41,84	51,14	32,55	41,84	46,49	46,49	37,20	43,39
950,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	10	9	8	10	7	9	11	8	8	10	9	9	
	Cantidad de partículas/día	14400	12960	11520	14400	10080	12960	15840	11520	11520	14400	12960	12960	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	46,49	41,84	37,20	46,49	32,55	41,84	51,14	37,20	37,20	46,49	41,84	41,84	41,84

1000,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	8	8	7	10	8	6	9	6	8	9	9	5	
	Cantidad de partículas/día	11520	11520	10080	14400	11520	8640	12960	8640	11520	12960	12960	7200	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	37,20	37,20	32,55	46,49	37,20	27,90	41,84	27,90	37,20	41,84	41,84	23,25	36,03
1050,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	7	8	7	9	8	7	10	5	7	8	8	5	
	Cantidad de partículas/día	10080	11520	10080	12960	11520	10080	14400	7200	10080	11520	11520	7200	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	32,55	37,20	32,55	41,84	37,20	32,55	46,49	23,25	32,55	37,20	37,20	23,25	34,48
1100,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	8	6	5	8	7	5	8	5	7	8	7	6	
	Cantidad de partículas/día	11520	8640	7200	11520	10080	7200	11520	7200	10080	11520	10080	8640	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	37,20	27,90	23,25	37,20	32,55	23,25	37,20	23,25	32,55	37,20	32,55	27,90	31,00
1150,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	6	7	5	8	6	5	7	4	6	6	8	5	
	Cantidad de partículas/día	8640	10080	7200	11520	8640	7200	10080	5760	8640	8640	11520	7200	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	27,90	32,55	23,25	37,20	27,90	23,25	32,55	18,60	27,90	27,90	37,20	23,25	28,28
1200,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	5	6	6	6	5	4	7	4	5	5	7	4	
	Cantidad de partículas/día	7200	8640	8640	8640	7200	5760	10080	5760	7200	7200	10080	5760	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	23,25	27,90	27,90	27,90	23,25	18,60	32,55	18,60	23,25	23,25	32,55	18,60	24,80
1250,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	5	4	5	6	5	5	6	3	5	4	6	4	
	Cantidad de partículas/día	7200	5760	7200	8640	7200	7200	8640	4320	7200	5760	8640	5760	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	23,25	18,60	23,25	27,90	23,25	23,25	27,90	13,95	23,25	18,60	27,90	18,60	22,47
1300,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	4	5	5	5	4	4	4	3	4	4	5	3	
	Cantidad de partículas/día	5760	7200	7200	7200	5760	5760	5760	4320	5760	5760	7200	4320	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	18,60	23,25	23,25	23,25	18,60	18,60	18,60	13,95	18,60	18,60	23,25	13,95	19,37
1350,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	4	5	4	5	4	3	4	4	3	3	3	2	
	Cantidad de partículas/día	5760	7200	5760	7200	5760	4320	5760	5760	4320	4320	4320	2880	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	18,60	23,25	18,60	23,25	18,60	13,95	18,60	18,60	13,95	13,95	13,95	9,30	17,05
1400,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	4	3	4	3	3	3	4	2	3	2	3	3	
	Cantidad de partículas/día	5760	4320	5760	4320	4320	4320	5760	2880	4320	2880	4320	4320	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	18,60	13,95	18,60	13,95	13,95	13,95	18,60	9,30	13,95	9,30	13,95	13,95	14,34
1435,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	3	2	3	4	2	2	2	3	2	3	2	2	
	Cantidad de partículas/día	4320	2880	4320	5760	2880	2880	2880	4320	2880	4320	2880	2880	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	13,95	9,30	13,95	18,60	9,30	9,30	9,30	13,95	9,30	13,95	9,30	9,30	11,62

\*Observación: el peso de una partícula de PM<sub>10</sub> (0,01315789474 ug) se utilizó para determinar todas las concentraciones, al igual que el volumen del equipo de medición que para 24 horas es de 4,0752m<sup>3</sup>/día.

\_ De los datos de cantidad de partículas obtenidos en campo y trabajados en gabinete permiten demostrar que en esta etapa las concentraciones determinadas en los puntos más bajos son mayores con respecto a las concentraciones de los puntos de muestreo más altos, es decir a mayor altitud menor concentración de material particulado respirable  $PM_{10}$ . La mayor concentración promedio determinado las 12 tomas de muestras fue de  $43,39 \text{ ug/m}^3$  (900,0 m.s.n.m.) y la menor concentración fue de  $11,62 \text{ ug/m}^3$  (1435,0 m.s.n.m.).

### 3.2.2. Determinación de la concentración de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ en la 2da etapa

Esta segunda etapa comprende los monitoreos realizados los días viernes y sábados desde el 20 de marzo hasta el 25 de abril del 2020, en el cual se tuvo un total de 12 tomas de muestra en los 12 puntos establecidos en campo. Los resultados del proceso de determinación de la concentración de material particulado en  $\text{ug/m}^3$  por 24 horas se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 11**

*Determinación de la concentración de  $PM_{2,5}$  en la 2da etapa de estudio*

Altitud	Fecha de monitoreo	Concentración de $PM_{2,5}$ ( $\text{ug/m}^3$ )												$\bar{x}$ ( $\text{ug/m}^3$ )
		20-Mar	21-Mar	27-Mar	28-Mar	3-Abr	4-Abr	10-Abr	11-Abr	17-Abr	18-Abr	24-Abr	25-Abr	
900,0 m.s.n.m.	Cantidad de particulas/min	18	17	19	19	17	16	17	16	15	14	16	14	19,18
	Cantidad de particulas/día	25920	24480	27360	27360	24480	23040	24480	23040	21600	20160	23040	20160	
	Concentración $\text{ug/m}^3$	20,92	19,76	22,08	22,08	19,76	18,60	19,76	18,60	17,44	16,27	18,60	16,27	
950,0 m.s.n.m.	Cantidad de particulas/min	16	15	18	20	16	16	16	15	15	15	14	15	18,50
	Cantidad de particulas/día	23040	21600	25920	28800	23040	23040	23040	21600	21600	21600	20160	21600	
	Concentración $\text{ug/m}^3$	18,60	17,44	20,92	23,25	18,60	18,60	18,60	17,44	17,44	17,44	16,27	17,44	
1000,0 m.s.n.m.	Cantidad de particulas/min	16	16	17	19	15	17	15	15	13	14	13	12	17,63
	Cantidad de particulas/día	23040	23040	24480	27360	21600	24480	21600	21600	18720	20160	18720	17280	
	Concentración $\text{ug/m}^3$	18,60	18,60	19,76	22,08	17,44	19,76	17,44	17,44	15,11	16,27	15,11	13,95	
1050,0 m.s.n.m.	Cantidad de particulas/min	15	15	17	17	15	15	14	13	12	11	13	10	
	Cantidad de particulas/día	21600	21600	24480	24480	21600	21600	20160	18720	17280	15840	18720	14400	



	Concentración ug/m <sup>3</sup>	17,44	17,44	19,76	19,76	17,44	17,44	16,27	15,11	13,95	12,79	15,11	11,62	16,18
1100,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	13	14	16	16	13	16	14	12	11	10	11	9	
	Cantidad de partículas/día	18720	20160	23040	23040	18720	23040	20160	17280	15840	14400	15840	12960	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	15,11	16,27	18,60	18,60	15,11	18,60	16,27	13,95	12,79	11,62	12,79	10,46	15,01
1150,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	13	12	14	14	12	14	12	10	9	10	9	8	
	Cantidad de partículas/día	18720	17280	20160	20160	17280	20160	17280	14400	12960	14400	12960	11520	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	15,11	13,95	16,27	16,27	13,95	16,27	13,95	11,62	10,46	11,62	10,46	9,30	13,27
1200,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	11	12	13	11	12	13	10	8	7	7	8	10	
	Cantidad de partículas/día	15840	17280	18720	15840	17280	18720	14400	11520	10080	10080	11520	14400	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	12,79	13,95	15,11	12,79	13,95	15,11	11,62	9,30	8,14	8,14	9,30	11,62	11,82
1250,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	10	9	11	12	9	11	9	8	6	7	6	6	
	Cantidad de partículas/día	14400	12960	15840	17280	12960	15840	12960	11520	8640	10080	8640	8640	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	11,62	10,46	12,79	13,95	10,46	12,79	10,46	9,30	6,97	8,14	6,97	6,97	10,07
1300,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	9	10	10	11	8	10	7	6	6	5	6	7	
	Cantidad de partículas/día	12960	14400	14400	15840	11520	14400	10080	8640	8640	7200	8640	10080	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	10,46	11,62	11,62	12,79	9,30	11,62	8,14	6,97	6,97	5,81	6,97	8,14	9,20
1350,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	7	9	8	10	8	9	5	5	5	4	5	5	
	Cantidad de partículas/día	10080	12960	11520	14400	11520	12960	7200	7200	7200	5760	7200	7200	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	8,14	10,46	9,30	11,62	9,30	10,46	5,81	5,81	5,81	4,65	5,81	5,81	7,75
1400,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	6	6	5	7	5	5	4	4	3	2	3	2	
	Cantidad de partículas/día	8640	8640	7200	10080	7200	7200	5760	5760	4320	2880	4320	2880	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	6,97	6,97	5,81	8,14	5,81	5,81	4,65	4,65	3,49	2,32	3,49	2,32	5,04
1435,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	5	5	6	5	4	3	2	3	3	2	2	3	
	Cantidad de partículas/día	7200	7200	8640	7200	5760	4320	2880	4320	4320	2880	2880	4320	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	5,81	5,81	6,97	5,81	4,65	3,49	2,32	3,49	3,49	2,32	2,32	3,49	4,17

\*Observación: el peso de una partícula de PM<sub>2,5</sub> (0,003289473685 ug) se utilizó para determinar todas las concentraciones, al igual que el volumen del equipo de medición que para 24 horas es de 4,0752m<sup>3</sup>/día.

\_ Los datos de cantidad de partículas obtenidos en campo y trabajados en gabinete permiten demostrar que en esta etapa las concentraciones determinadas en los puntos más bajos son mayores a las concentraciones de los puntos de muestreo más altos, es decir a mayor altitud menor concentración de material particulado respirable PM<sub>2,5</sub>. La mayor concentración promedio determinado de las 12 tomas de muestras fue de 19,18 ug/m<sup>3</sup> (900,0 m.s.n.m.) y la menor concentración fue de 4,17 ug/m<sup>3</sup> (1435,0 m.s.n.m.).

**Tabla 12***Determinación de la concentración de PM<sub>10</sub> en la 2da etapa de estudio*

Altitud	Fecha de monitoreo	Concentración de PM <sub>10</sub> (ug/m <sup>3</sup> )												$\bar{x}$ (ug/m <sup>3</sup> )
		20-Mar	21-Mar	27-Mar	28-Mar	3-Abr	4-Abr	10-Abr	11-Abr	17-Abr	18-Abr	24-Abr	25-Abr	
900,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	7	8	7	8	7	8	7	7	6	5	5	5	31,00
	Cantidad de partículas/día	10080	11520	10080	11520	10080	11520	10080	10080	8640	7200	7200	7200	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	32,55	37,20	32,55	37,20	32,55	37,20	32,55	32,55	27,90	23,25	23,25	23,25	
950,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	7	8	6	7	7	6	7	6	5	4	4	4	27,51
	Cantidad de partículas/día	10080	11520	8640	10080	10080	8640	10080	8640	7200	5760	5760	5760	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	32,55	37,20	27,90	32,55	32,55	27,90	32,55	27,90	23,25	18,60	18,60	18,60	
1000,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	6	7	5	7	6	5	6	7	5	4	5	4	25,96
	Cantidad de partículas/día	8640	10080	7200	10080	8640	7200	8640	10080	7200	5760	7200	5760	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	27,90	32,55	23,25	32,55	27,90	23,25	27,90	32,55	23,25	18,60	23,25	18,60	
1050,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	5	6	6	8	6	5	5	5	4	5	4	4	24,41
	Cantidad de partículas/día	7200	8640	8640	11520	8640	7200	7200	7200	5760	7200	5760	5760	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	23,25	27,90	27,90	37,20	27,90	23,25	23,25	23,25	18,60	23,25	18,60	18,60	
1100,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	5	7	5	6	5	5	4	6	4	4	4	3	22,47
	Cantidad de partículas/día	7200	10080	7200	8640	7200	7200	5760	8640	5760	5760	5760	4320	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	23,25	32,55	23,25	27,90	23,25	23,25	18,60	27,90	18,60	18,60	18,60	13,95	
1150,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	6	6	5	7	5	4	4	5	3	3	3	3	20,92
	Cantidad de partículas/día	8640	8640	7200	10080	7200	5760	5760	7200	4320	4320	4320	4320	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	27,90	27,90	23,25	32,55	23,25	18,60	18,60	23,25	13,95	13,95	13,95	13,95	
1200,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	5	6	5	6	3	4	3	4	3	3	3	2	18,21
	Cantidad de partículas/día	7200	8640	7200	8640	4320	5760	4320	5760	4320	4320	4320	2880	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	23,25	27,90	23,25	27,90	13,95	18,60	13,95	18,60	13,95	13,95	13,95	9,30	
1250,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	4	5	4	5	4	3	3	4	2	2	3	2	15,89
	Cantidad de partículas/día	5760	7200	5760	7200	5760	4320	4320	5760	2880	2880	4320	2880	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	18,60	23,25	18,60	23,25	18,60	13,95	13,95	18,60	9,30	9,30	13,95	9,30	
1300,0 m.s.n.m.	Cantidad de partículas/min	4	4	3	4	3	3	2	3	3	3	2	2	13,95
	Cantidad de partículas/día	5760	5760	4320	5760	4320	4320	2880	4320	4320	4320	2880	2880	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	18,60	18,60	13,95	18,60	13,95	13,95	9,30	13,95	13,95	13,95	9,30	9,30	

1350,0 m.s.n.m.	Cantidad de particulas/min	3	4	3	4	3	2	2	3	2	1	2	1	
	Cantidad de particulas/día	4320	5760	4320	5760	4320	2880	2880	4320	2880	1440	2880	1440	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	13,95	18,60	13,95	18,60	13,95	9,30	9,30	13,95	9,30	4,65	9,30	4,65	11,62
1400,0 m.s.n.m.	Cantidad de particulas/min	2	3	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	
	Cantidad de particulas/día	2880	4320	2880	2880	2880	2880	1440	2880	1440	2880	2880	2880	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	9,30	13,95	9,30	9,30	9,30	9,30	4,65	9,30	4,65	9,30	9,30	9,30	8,91
1435,0 m.s.n.m.	Cantidad de particulas/min	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	1	1	
	Cantidad de particulas/día	2880	2880	1440	2880	1440	1440	2880	2880	1440	2880	1440	1440	
	Concentración ug/m <sup>3</sup>	9,30	9,30	4,65	9,30	4,65	4,65	9,30	9,30	4,65	4,65	4,65	4,65	6,97

\*Observación: el peso de una partícula de PM<sub>10</sub> (0,01315789474 ug) se utilizó para determinar todas las concentraciones, al igual que el volumen del equipo de medición que para 24 horas es de 4,0752m<sup>3</sup>/día.

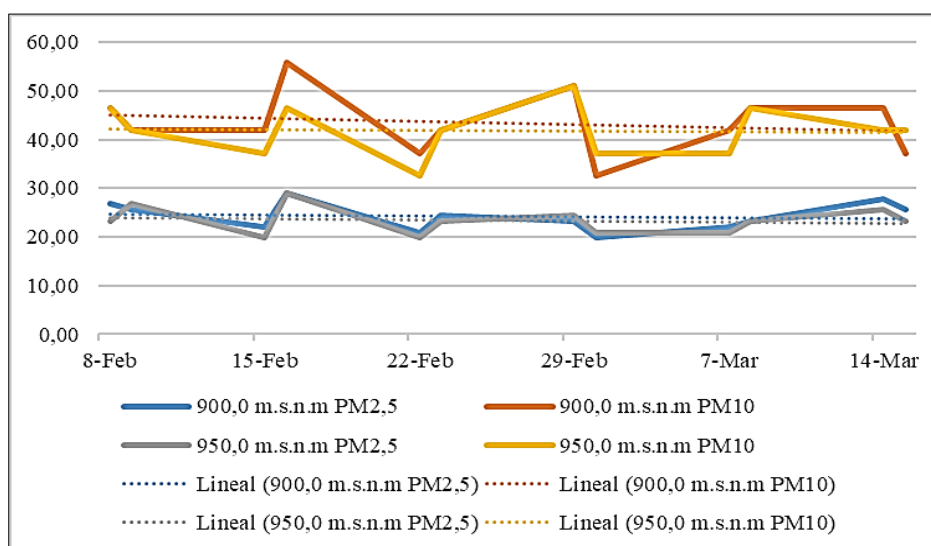
\_ De los datos de cantidad de partículas obtenidos en campo y trabajados en gabinete permiten demostrar que en esta etapa las concentraciones determinadas en los puntos más bajos son mayores con respecto a las concentraciones de los puntos de muestreo más altos, es decir a mayor altitud menor concentración de material particulado respirable PM<sub>10</sub>. La mayor concentración promedio determinado de las 12 tomas de muestras fue de 31,00 ug/m<sup>3</sup> (900,0 m.s.n.m.) y la menor concentración fue de 6,97 ug/m<sup>3</sup> (1435,0 m.s.n.m.).

### 3.3. Análisis y sistematización de las concentraciones de material particulado respirable $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$

Para el desarrollo de este objetivo se ha tenido a bien agrupar cada 2 puntos de muestreo de ambos parámetros y en ambas etapas de estudio, los mismos que han sido representados mediante figuras de líneas para un mejor análisis e interpretación.

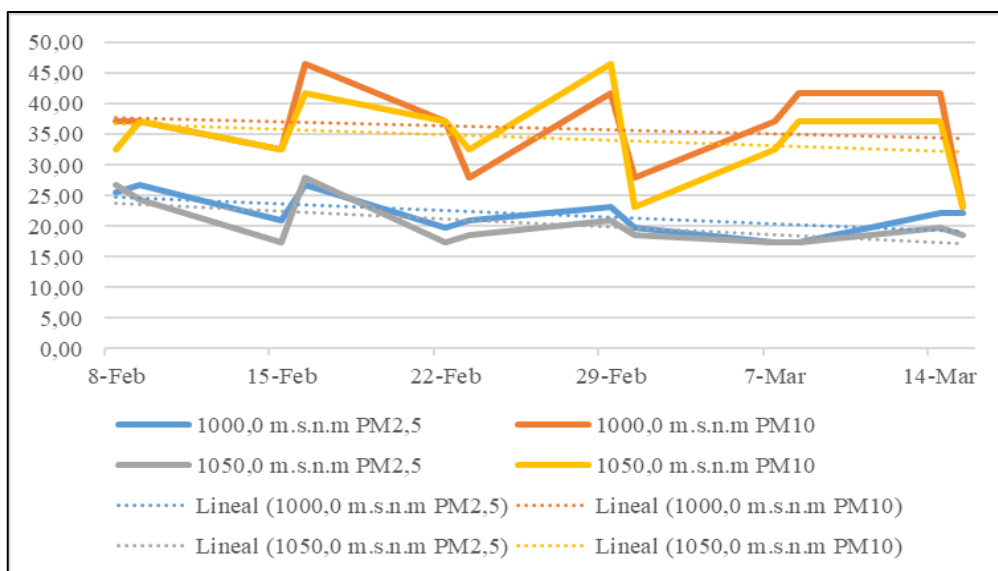
#### 3.3.1. Concentraciones de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ en la 1ra etapa

Los resultados de la determinación de la concentración de material particulado en  $ug/m^3$  por 24 horas se muestran mediante las siguientes figuras de líneas.



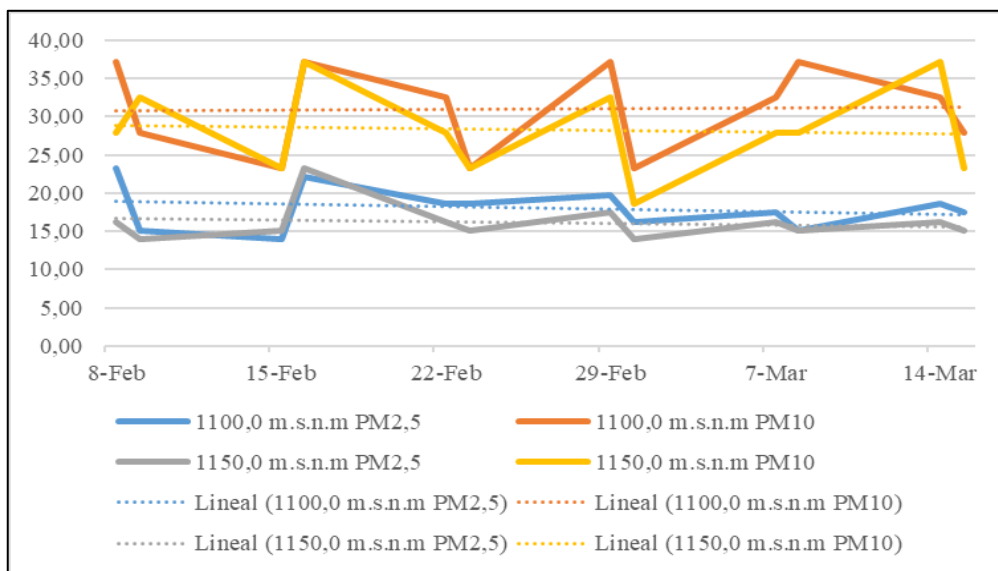
**Figura 11:** Concentración de  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$  de los puntos 1 y 2 (1ra etapa)

Los resultados obtenidos permiten demostrar de las 12 tomas de muestras con respecto al 1er punto de muestreo la línea de concentraciones de  $PM_{2,5}$  muestra una tendencia lineal descendente mínima con intervalo entre la concentración máxima  $29,06ug/m^3$  y mínima  $19,76ug/m^3$  siempre por debajo de la línea de  $PM_{10}$  el cual descende y que tiene un mayor intervalo entre el máximo  $55,79ug/m^3$  y mínimo  $32,55ug/m^3$ . En cuanto al 2do punto de muestreo la línea de tendencia de  $PM_{2,5}$  también tiene un descenso mínimo, con intervalo de concentración máxima y mínima igual que la del 1er punto, la línea de  $PM_{10}$  también descende pero el intervalo es mayor entre la concentración  $51,14ug/m^3$  y  $32,55ug/m^3$ , siempre por encima de la línea de  $PM_{2,5}$ .



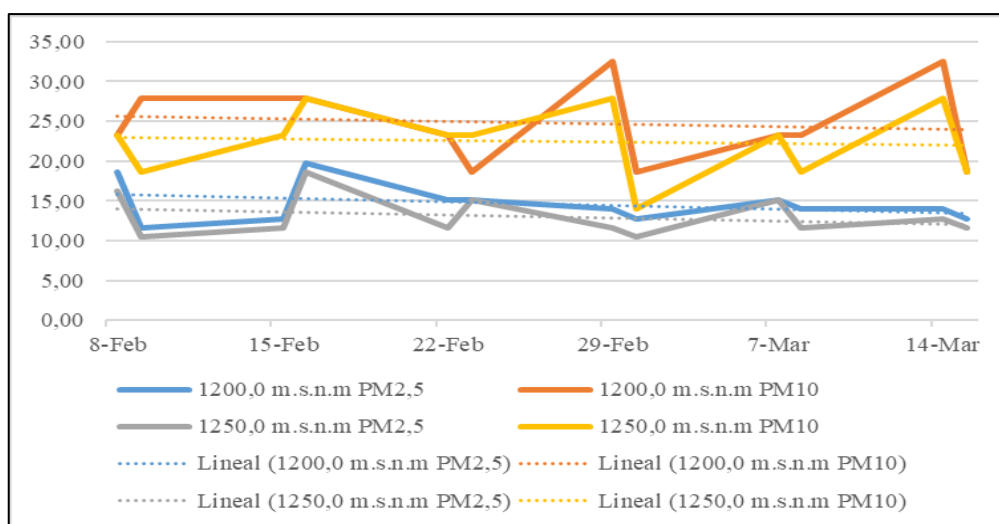
**Figura 12:** Concentración de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> de los puntos 3 y 4 (1ra etapa)

Los resultados obtenidos permiten demostrar de las 12 tomas de muestras con respecto al 3er punto de muestreo que la línea de concentraciones de PM<sub>2,5</sub> muestra tendencia de descenso y tiene menor intervalo entre la concentración  $26,73\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $17,44\mu\text{g}/\text{m}^3$ , siempre por debajo de la línea de PM<sub>10</sub> que también descende pero con mayor intervalo entre  $46,49\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $23,25\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En cuanto al 4to punto de muestreo la línea de concentraciones de PM<sub>2,5</sub> tiene también tendencia de descenso con menor intervalo de concentración entre  $27,90\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $17,44\mu\text{g}/\text{m}^3$ , la línea de tendencia de PM<sub>10</sub> también descende con intervalo de concentración máxima y mínima igual que la del 3er punto, siempre por encima de la línea de PM<sub>2,5</sub>.



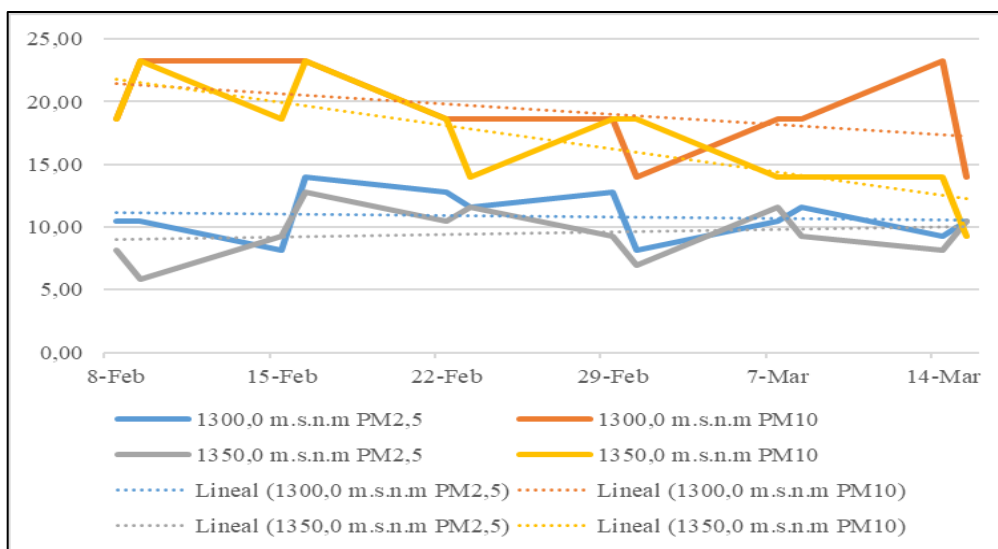
**Figura 13:** Concentración de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> de los puntos 5 y 6 (1ra etapa)

Los resultados obtenidos permiten demostrar de las 12 tomas de muestras con respecto al 5to punto de muestreo la línea de concentraciones de  $PM_{2,5}$  muestra tendencia de descenso con menor intervalo entre  $23,25\mu g/m^3$  y  $13,95\mu g/m^3$  siempre por debajo de la línea de  $PM_{10}$  que tiene ascenso mínimo pero con mayor intervalo entre  $37,20\mu g/m^3$  y  $23,25\mu g/m^3$ . En cuanto al 6to punto de muestreo la línea de concentraciones de  $PM_{2,5}$  tiene también tendencia descenso con intervalo, concentración máxima y mínima igual que la del 5to punto, la línea de  $PM_{10}$  desciende con intervalo mayor entre  $37,20\mu g/m^3$  y  $18,60\mu g/m^3$  siempre por encima de la línea de  $PM_{2,5}$  pero en algunas fechas se puede notar las concentraciones máximas cerca de las concentraciones mínimas de la de  $PM_{10}$  al igual que las líneas del 5to punto.



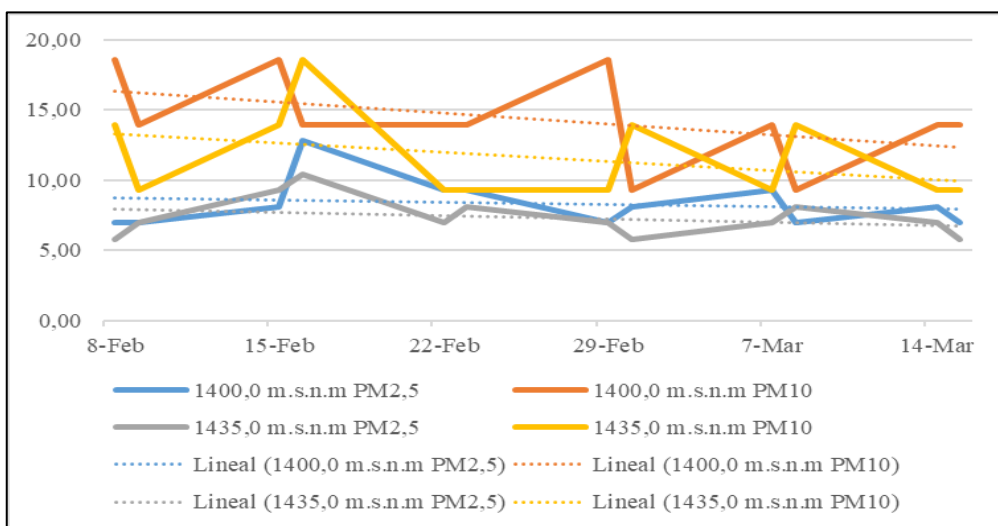
**Figura 14:** Concentración de  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$  de los puntos 7 y 8 (1ra etapa)

Los resultados obtenidos permiten demostrar de las 12 tomas de muestras con respecto al 7mo punto de muestreo que la línea de concentraciones de  $PM_{2,5}$  muestra tendencia de descenso con menor intervalo entre  $19,76\mu g/m^3$  y  $11,62\mu g/m^3$  siempre por debajo de la línea de  $PM_{10}$  que también desciende pero con mayor intervalo entre  $32,55\mu g/m^3$  y  $18,60\mu g/m^3$ . En cuanto al 8vo punto de muestreo la línea de concentraciones de  $PM_{2,5}$  tiene también tendencia de descenso con intervalo entre  $18,606\mu g/m^3$  y  $13,95\mu g/m^3$ , la línea de  $PM_{10}$  desciende con intervalo mayor entre  $27,90\mu g/m^3$  y  $13,95\mu g/m^3$  siempre por encima de la línea de  $PM_{2,5}$  pero en algunas fechas se puede notar las concentraciones máximas cerca de las concentraciones mínimas de la de  $PM_{10}$  al igual que las líneas del 7mo punto.



**Figura 15:** Concentración de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> de los puntos 9 y 10 (1ra etapa)

Los resultados obtenidos permiten demostrar de las 12 tomas de muestras con respecto al 9no punto de muestreo que la línea de concentraciones de PM<sub>2,5</sub> muestra tendencia de descenso mínimo con intervalo entre  $13,95\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $8,14\mu\text{g}/\text{m}^3$  siempre por debajo de la línea de PM<sub>10</sub> que también desciende pero con intervalo entre  $23,25\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $13,95\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En cuanto al 10mo punto de muestreo la línea de concentraciones de PM<sub>2,5</sub> tiene tendencia de ascenso mínimo con intervalo entre  $12,79\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $5,81\mu\text{g}/\text{m}^3$ , la línea de PM<sub>10</sub> tiene mayor descenso con intervalo entre  $23,25\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $9,30\mu\text{g}/\text{m}^3$  siempre por encima de la línea de PM<sub>2,5</sub> pero en algunas fechas se puede notar las concentraciones máximas cerca de las concentraciones mínimas de la de PM<sub>10</sub> al igual que las líneas del 9no punto.



**Figura 16:** Concentración de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> de los puntos 11 y 12 (1ra etapa)

Los resultados obtenidos permiten demostrar de las 12 tomas de muestras con respecto al punto 11 de muestreo que la línea de concentraciones de  $PM_{2,5}$  muestra tendencia de descenso con intervalo entre  $12,79\mu g/m^3$  y  $6,97\mu g/m^3$  siempre por debajo de la línea de  $PM_{10}$  que muestra un descenso mayor con intervalo entre  $18,60\mu g/m^3$  y  $9,30\mu g/m^3$ . En cuanto al punto 12 de muestreo la línea de concentraciones de  $PM_{2,5}$  tiene también tendencia de descenso con intervalo entre  $10,46\mu g/m^3$  y  $5,81\mu g/m^3$ , la línea de  $PM_{10}$  tiene mayor descenso con intervalo entre  $18,60\mu g/m^3$  y  $9,30\mu g/m^3$  siempre por encima de la línea de  $PM_{2,5}$  pero que en algunas fechas se puede notar las concentraciones máximas cerca de las concentraciones mínimas de la de  $PM_{10}$  al igual que las líneas del 9no punto.

### **Comentarios finales de la concentración de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ en 1ra etapa**

#### **— $PM_{2,5}$**

Las concentraciones de este parámetro medido teniendo en cuenta las 12 tomas de muestras realizadas permiten concluir que desde la primera fecha de monitoreo hasta la última en todos los puntos las tendencias lineales se muestran descendientes es decir que conforme se iban tomando más muestras eran menos las cantidades de partículas registradas y por ende las concentraciones, asumiendo que esto se debe principalmente a factores climatológicos de prevalencia de invierno, con probabilidad que en los meses de junio a setiembre la línea de tendencia de concentraciones sea ascendente debido al verano.

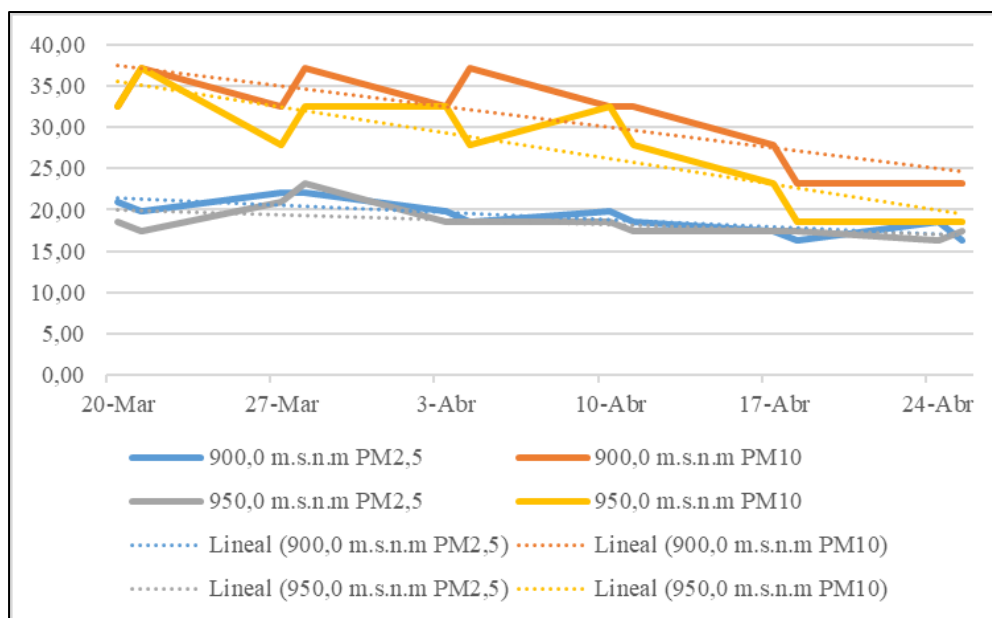
#### **— $PM_{10}$**

Las concentraciones de este parámetro medido teniendo en cuenta las 12 tomas de muestras realizadas permiten concluir también que desde la primera fecha de monitoreo hasta la última en todos los puntos las tendencias lineales se muestran descendientes es decir que conforme se iban tomando más muestras eran menos las cantidades de partículas registradas y por ende las concentraciones, asumiendo también que dichos resultados se deben principalmente a factores climatológicos en la zona.



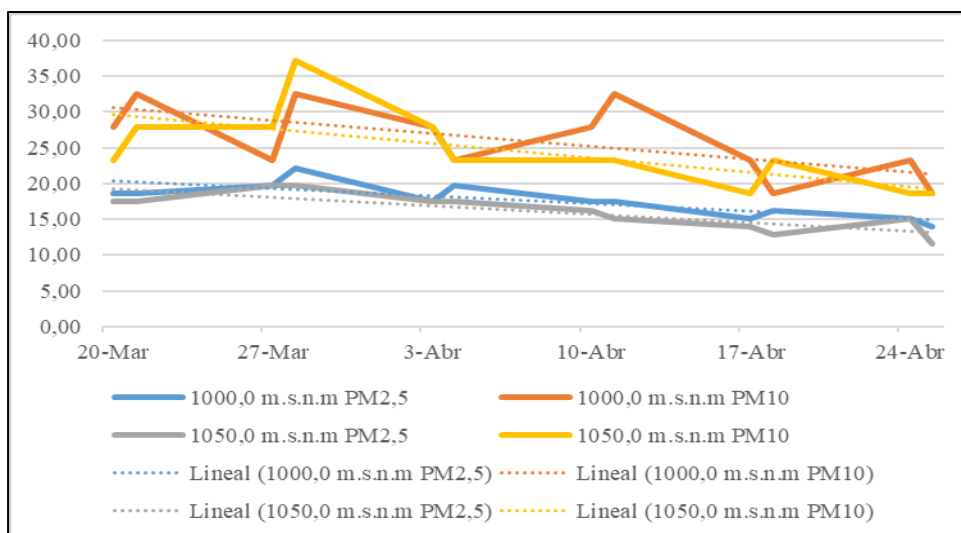
### 3.3.2. Concentraciones de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> en la 2da etapa

Esta segunda etapa comprende los monitoreos realizados los días viernes y sábados desde el 20 de marzo hasta el 25 de abril del 2020, en el cual se tomó un total de 12 muestreos en los 12 puntos establecidos en campo. Los resultados de la concentración de material particulado en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  por 24 horas se muestran mediante las siguientes figuras de líneas.



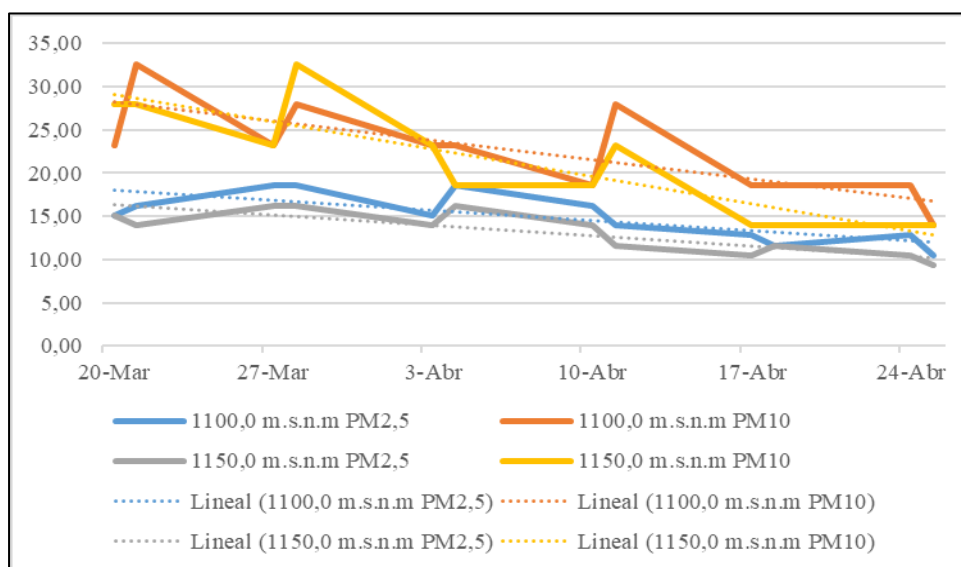
**Figura 17:** Concentración de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> de los puntos 1 y 2 (2da etapa)

Los resultados obtenidos permiten demostrar de las 12 tomas de muestras con respecto al 1er punto de muestreo que la línea de concentraciones de PM<sub>2,5</sub> muestra una tendencia lineal descendente con intervalo entre la concentración máxima 22,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y mínima 16,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  siempre por debajo de la línea de PM<sub>10</sub> el cual tiene un mayor descenso y un mayor intervalo entre el máximo 37,20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y mínimo 23,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En cuanto al 2do punto de muestreo la línea de tendencia de PM<sub>2,5</sub> también desciende con intervalo entre 23,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 16,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , la línea de PM<sub>10</sub> tiene un mayor descenso con intervalo mayor entre la concentración 37,20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 18,60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se puede notar que en las últimas tomas de muestras las concentraciones mínimas de PM<sub>10</sub> son cercanas a las de PM<sub>2,5</sub>.



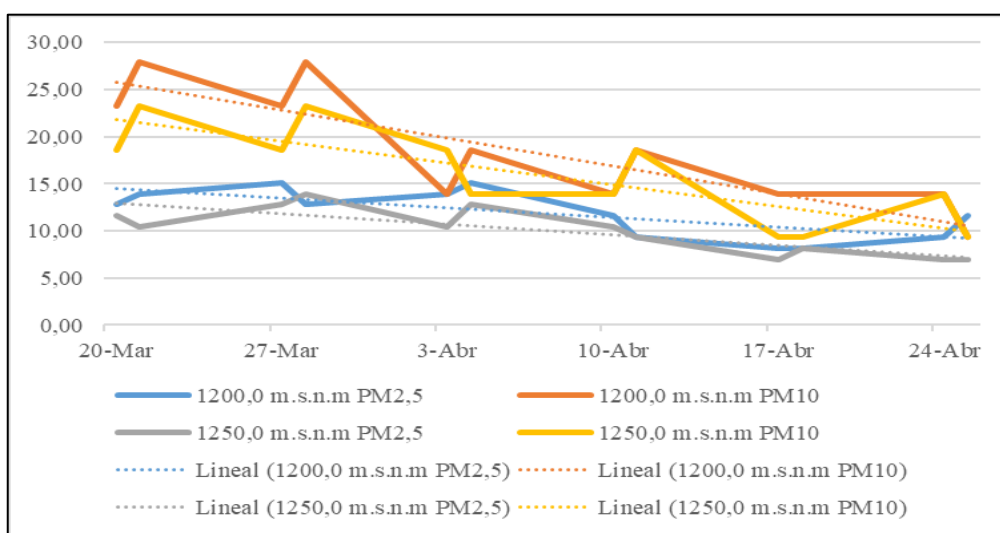
**Figura 18:** Concentración de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> de los puntos 3 y 4 (2da etapa)

Los resultados obtenidos permiten demostrar de las 12 tomas de muestras con respecto al 3er punto de muestreo que la línea de concentraciones de PM<sub>2,5</sub> muestra tendencia de descenso y tiene menor intervalo entre la concentración  $22,08\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $13,95\mu\text{g}/\text{m}^3$  siempre por debajo de la línea de PM<sub>10</sub> que tiene un mayor descenso y mayor intervalo entre  $32,55\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $18,60\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En cuanto al 4to punto de muestreo la línea de concentraciones de PM<sub>2,5</sub> tiene también tendencia de descenso con menor intervalo de concentración entre  $19,76\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $11,62\mu\text{g}/\text{m}^3$ , la línea de tendencia de PM<sub>10</sub> también tiene un mayor descenso con intervalo mayor entre  $37,20\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $18,60\mu\text{g}/\text{m}^3$  siempre por encima de la línea de PM<sub>2,5</sub>.



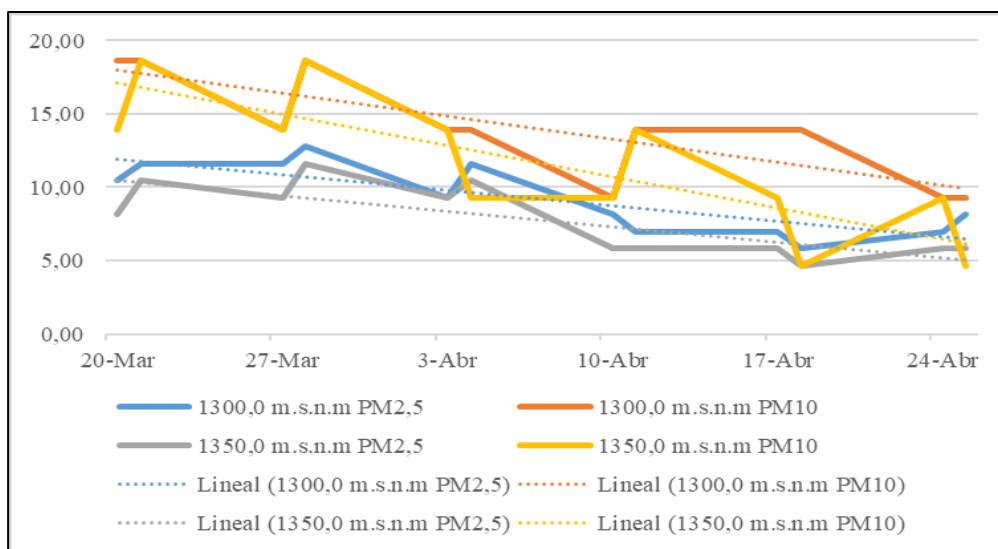
**Figura 19:** Concentración de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> de los puntos 5 y 6 (2da etapa)

Los resultados obtenidos permiten demostrar de las 12 tomas de muestras con respecto al 5to punto de muestreo que la línea de concentraciones de  $PM_{2,5}$  muestra tendencia de descenso con menor intervalo entre  $18,60\mu g/m^3$  y  $10,46\mu g/m^3$  siempre por debajo de la línea de  $PM_{10}$  que tiene un mayor descenso con intervalo entre  $32,55\mu g/m^3$  y  $13,95\mu g/m^3$ . En cuanto al 6to punto de muestreo la línea de concentraciones de  $PM_{2,5}$  tiene también tendencia de descenso con intervalo  $16,27\mu g/m^3$  y  $9,30\mu g/m^3$ , la línea de  $PM_{10}$  tiene un mayor descenso con intervalo entre  $32,55\mu g/m^3$  y  $13,95\mu g/m^3$  siempre por encima de la línea de  $PM_{2,5}$  pero que en algunas fechas se puede notar las concentraciones máximas cerca de las concentraciones mínimas de la de  $PM_{10}$  al igual que las líneas del 5to punto.



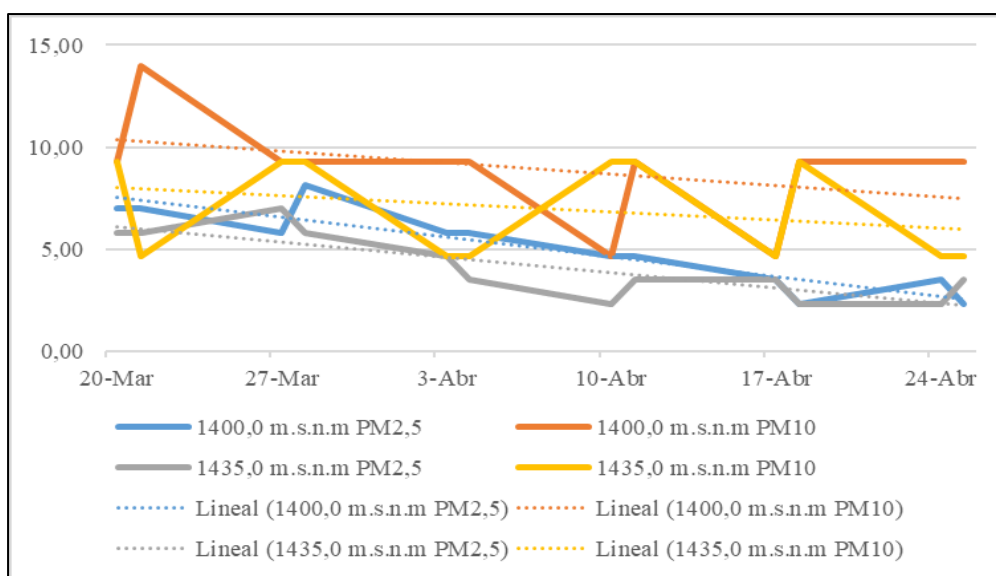
**Figura 20:** Concentración de  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$  de los puntos 7 y 8 (2da etapa)

Los resultados obtenidos permiten demostrar de las 12 tomas de muestras con respecto al 7mo punto de muestreo que la línea de concentraciones de  $PM_{2,5}$  muestra tendencia de descenso con intervalo entre  $15,11\mu g/m^3$  y  $8,14\mu g/m^3$  siempre por debajo de la línea de  $PM_{10}$  hasta acercarse mucho más en las últimas fechas de muestreo, está línea también descendiendo pero su descenso es mayor con intervalo entre  $27,90\mu g/m^3$  y  $9,30\mu g/m^3$ . En cuanto al 8vo punto de muestreo la línea de concentraciones de  $PM_{2,5}$  tiene también tendencia de descenso con intervalo entre  $13,95\mu g/m^3$  y  $6,97\mu g/m^3$  y al igual que en el anterior punto la línea de  $PM_{10}$  tiene un mayor descenso con intervalo entre  $23,25\mu g/m^3$  y  $9,30\mu g/m^3$  siempre por encima de la línea de  $PM_{2,5}$  pero que en las últimas fechas esta tiende a acercarse.



**Figura 21:** Concentración de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> de los puntos 9 y 10 (2da etapa)

Los resultados obtenidos permiten demostrar de las 12 tomas de muestras con respecto al 9no punto de muestreo que la línea de concentraciones de PM<sub>2,5</sub> muestra tendencia descendente con intervalo entre  $12,79\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $5,81\mu\text{g}/\text{m}^3$  siempre por debajo de la línea de PM<sub>10</sub> que se muestra con mayor descenso aproximándose en las últimas tomas de muestras con intervalo entre  $18,60\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $9,30\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En cuanto al 10mo punto de muestreo la línea de concentraciones de PM<sub>2,5</sub> tiene tendencia también de descenso con intervalo entre  $11,62\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $4,65\mu\text{g}/\text{m}^3$ , la línea de PM<sub>10</sub> tiene mayor descenso con intervalo entre  $18,60\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $4,65\mu\text{g}/\text{m}^3$  está siempre se encuentra por encima de la línea de PM<sub>2,5</sub> pero en las últimas fechas llega a aproximarse mucho a ella.



**Figura 22:** Concentración de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> de los puntos 11 y 12 (2da etapa)

Los resultados obtenidos permiten demostrar de las 12 tomas de muestras con respecto al punto 11 de muestreo que la línea de concentraciones de  $PM_{2,5}$  muestra tendencia de descenso con intervalo entre  $8,14\mu g/m^3$  y  $2,32\mu g/m^3$  siempre por debajo de la línea de  $PM_{10}$  que también desciende pero no tanto como en los anteriores puntos con intervalo entre  $13,95\mu g/m^3$  y  $4,65\mu g/m^3$ . En cuanto al punto 12 de muestreo la línea de concentraciones de  $PM_{2,5}$  tiene también tendencia de descenso con intervalo entre  $6,97\mu g/m^3$  y  $2,32\mu g/m^3$ , la línea de  $PM_{10}$  también desciende pero menor que el anterior punto con intervalo entre  $9,30\mu g/m^3$  y  $4,65\mu g/m^3$  siempre por encima de la línea de  $PM_{2,5}$ .

### **Comentarios finales de la concentración de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ en 2da etapa**

#### **— $PM_{2,5}$**

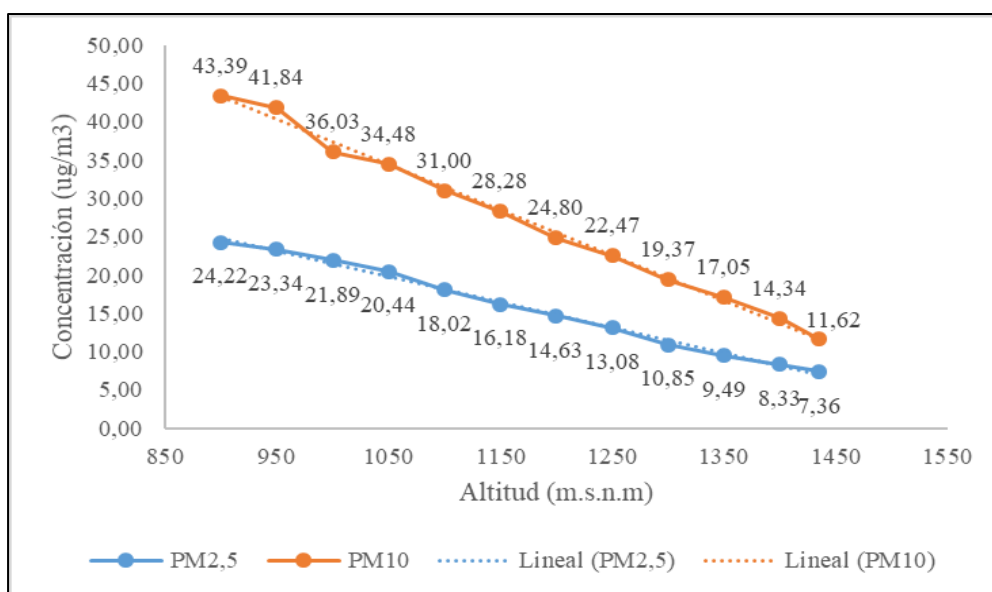
Las concentraciones de este parámetro medido teniendo en cuenta las 12 tomas de muestras realizadas permiten concluir que desde la primera fecha de monitoreo hasta la última en todos los puntos las tendencias lineales se muestran descendientes es decir que conforme se iban tomando más muestras eran menos las cantidades de partículas registradas y por ende las concentraciones, se asume que a diferencia de la anterior etapa en la cual se debe principalmente a factores climatológicos, en esta se asume también al no desarrollo de las principales actividades económicas, inmovilización social generadoras de material particulado, debido al estado de emergencia en el país.

#### **— $PM_{10}$**

Las concentraciones de este parámetro medido teniendo en cuenta las 12 tomas de muestras realizadas permiten concluir que desde la primera fecha de monitoreo hasta la última en todos los puntos las tendencias lineales se muestran con un descenso mayor es decir que conforme se iban tomando más muestras eran menos las cantidades de partículas registradas y por ende las concentraciones, se asume que a diferencia de la anterior etapa en la cual se debe principalmente a factores climatológicos, en esta se asume también al no desarrollo de las principales actividades económicas, inmovilización social generadoras de material particulado en su mayoría de  $PM_{10}$  debido al estado de emergencia en el país.

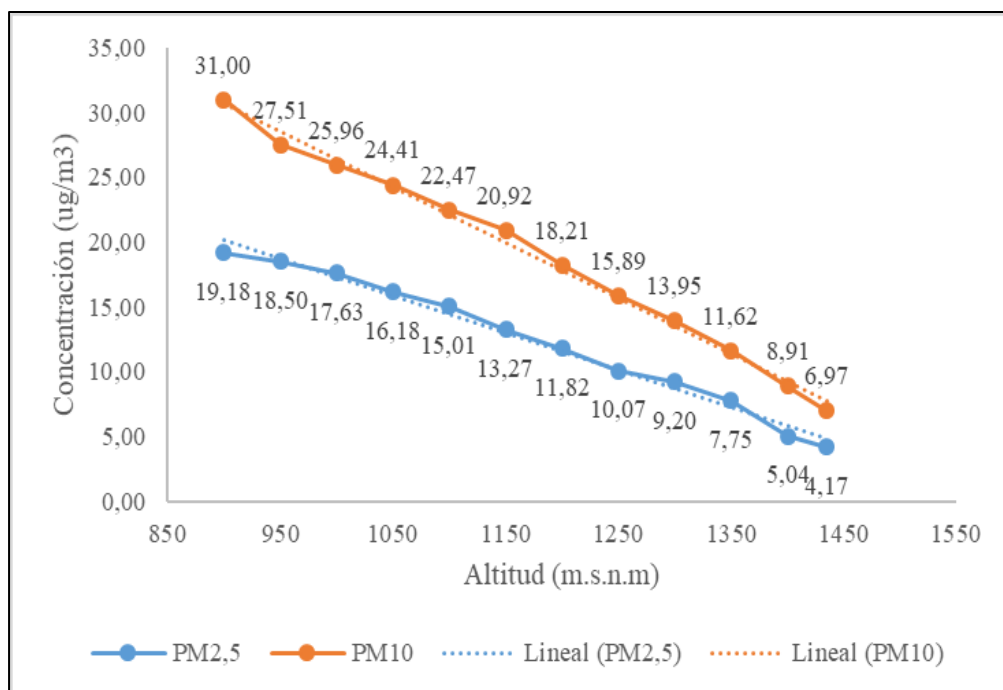
### 3.3.3. Distribución de las concentraciones promedios de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>

En las siguientes figuras se presentan las concentraciones promedio de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> en ambas etapas de estudio a fin de conocer cómo se distribuye conforme aumenta la altitud.



**Figura 23:** Distribución de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> (1ra etapa)

Los datos obtenidos en esta primera etapa permiten demostrar a través de la línea de tendencia que conforme aumenta la altitud sobre el nivel del mar menor será la concentración de material particulado respirable PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> en los meses de estudio. Además, se puede observar que las concentraciones de PM<sub>10</sub> son mayores a la de PM<sub>2,5</sub> en todos los niveles de altura estudiados, aunque también es la que mayor descende conforme aumenta la altura dando así a entender que a nivel superficial se encuentra mayor cantidad de este tipo de partículas sobre todo cuando las características del punto de muestreo favorecen a que se dé este caso. Estos resultados se deben principalmente a factores climatológicos propios en la zona, también es de mencionar que las concentraciones de estos parámetros en los puntos de muestreo 2, 3, 4, 5 y 6 se asume a que se deben principalmente a la presencia de polen producido por la gran cantidad vegetación y humedad relativa presente en el área de estudio, además de polvo sobre todo en el primer y segundo punto de muestreo, a partir del 7mo punto de muestreo donde las tomas fueron realizadas al aire libre se asume teniendo en cuenta las altitudes la presencia de todos los tipos de material particulado anteriormente mencionados.

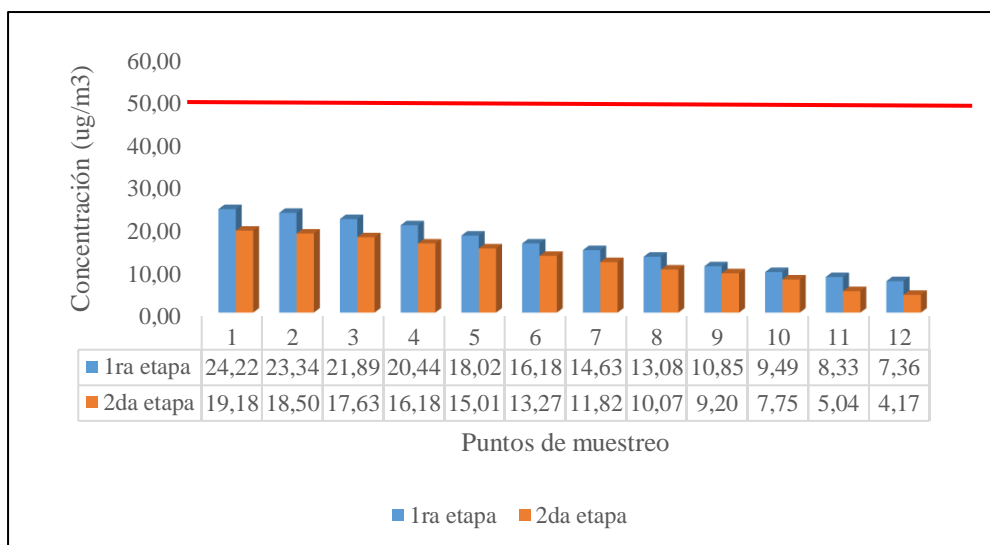


**Figura 24:** Distribución de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> (2da etapa)

Los datos obtenidos en esta segunda etapa permiten demostrar a través de la línea de tendencia que conforme aumenta la altitud sobre el nivel del mar menor será la concentración de material particulado respirable PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> en el tiempo de estudio, a ello hay que sumar además que las concentraciones de ambos parámetros obtenidos son menores a la de la primera etapa y esto se da a raíz de que no se desarrollaron actividades y la inmovilización social durante este periodo. Además, se puede observar también que las concentraciones de PM<sub>10</sub> son mayores a la de PM<sub>2,5</sub> en todos los niveles de altura estudiados, aunque también es la que mayor desciende conforme aumenta la altura al igual que en la anterior etapa de estudio. Estos resultados se deben principalmente a factores climatológicos propios en la zona y a factores ya anteriormente mencionados en cuanto a disminución de concentraciones en cada punto, también es de mencionar que las concentraciones de estos parámetros en los puntos de muestreo 2, 3, 4, 5 y 6 se asume a que se deben principalmente a la presencia de polen producido por la gran cantidad vegetación y humedad relativa presente en el área de estudio, además de polvo sobre todo en el primer y segundo punto de muestreo, siendo que a partir del 7mo punto de muestreo donde las tomas fueron realizadas al aire libre se asume teniendo en cuenta las altitudes la presencia de todos estos los tipos de material particulado anteriormente mencionados.

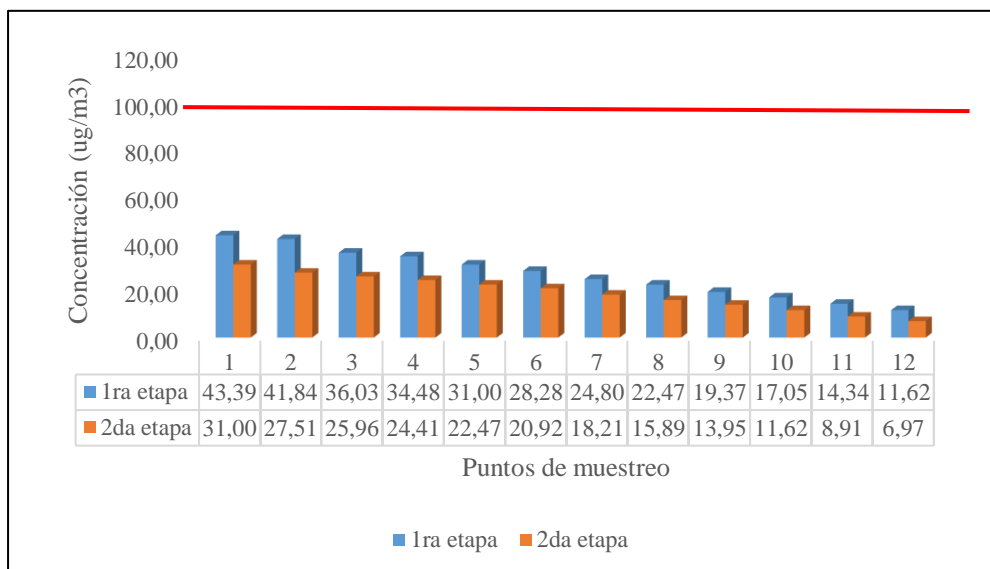
### 3.3.4. Comparación de resultados con el DS N°-003-2017-MINAM

En las siguientes figuras se presentan las concentraciones promedio de  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$  en ambas etapas de estudio a fin de conocer cómo se distribuye conforme aumenta la altitud.



**Figura 25:** Comparación de  $PM_{2,5}$  con los ECA del DS N°-003-2017-MINAM

Comparando los resultados obtenidos en campo, se puede decir que las concentraciones de  $PM_{2,5}$  no exceden los estándares de calidad ambiental establecidos en el DS N°-003-2017-MINAM.



**Figura 26:** Comparación de  $PM_{10}$  con los ECA del DS N°-003-2017-MINAM

Comparando los resultados obtenidos en campo, se puede decir que las concentraciones de  $PM_{10}$  no exceden los estándares de calidad ambiental establecidos en el DS N°-003-2017-MINAM.



### 3.4. Evaluación de la diferencia significativa entre la altura y la concentración de material particulado respirable

Para evaluar la relación entre la variable altura y la concentración de  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ , se ha tenido a bien agrupar las concentraciones promedio de ambas etapas en uno solo es decir por los 3 meses de estudio y encontrar la relación de cada parámetro mediante diferencia de medias y el estadístico prueba de t de student.

#### 3.4.1. Diferencia significativa entre la altura y la concentración de $PM_{2,5}$

**Tabla 13**

*Diferencia de medias de concentraciones de  $PM_{2,5}$*

Altura (m.s.n.m)	Concentración $PM_{2,5}$ ( $\mu g/m^3$ )			$\Sigma(D_i - \bar{D})^2$
	Inferior	Superior	$\bar{D}$	
900,0 – 950,0	21,70	20,92	0,77	0,45
950,0 – 1000,0	20,92	19,76	1,16	0,08
1000,0 – 1050,0	19,76	18,31	1,45	0,00
1050,0 – 1100,0	18,31	16,52	1,79	0,12
1100,0 – 1150,0	16,52	14,72	1,79	0,12
1150,0 – 1200,0	14,72	13,22	1,50	0,00
1200,0 – 1250,0	13,22	11,58	1,65	0,04
1250,0 – 1300,0	11,58	10,03	1,55	0,01
1300,0 – 1350,0	10,03	8,62	1,40	0,00
1350,0 – 1400,0	8,62	6,68	1,94	0,24
1400,0 – 1435,0	6,68	5,76	0,92	0,28
			1,45	1,34

#### Prueba de significancia

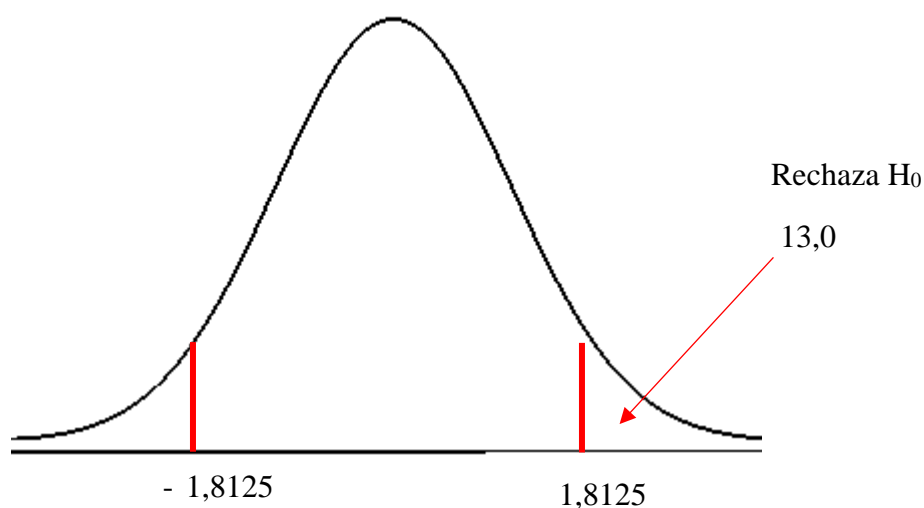
**H<sub>1</sub>:** Existe diferencia significativa entre la distribución espacial vertical y la concentración de material particulado respirable ( $PM_{2,5}$ ) en el Morro de Calzada.

**H<sub>0</sub>:** No existe diferencia significativa entre la distribución espacial vertical y la concentración de material particulado respirable (PM<sub>2,5</sub>) en el Morro de Calzada.

- $S_d = \sqrt{\frac{\sum(D_i - \bar{D})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{1,34}{10}} = 0,37$

- $T = \frac{\bar{D}}{s_d/\sqrt{n}} = \frac{1,45}{0,37/\sqrt{11}} = 13,0$

- $T_t = 1,8125$



**Figura 27:** Prueba de significancia entre la distribución espacial vertical y la concentración de PM<sub>2,5</sub>.

Habiendo encontrado que el  $t_t$  es 1,8125 y el  $t_c$  es 13,0, se puede observar que cae en la zona de rechazo de la hipótesis nula aceptando de esta manera la hipótesis alterna, lo cual indica que existe diferencia significativa entre la distribución espacial vertical (altura) y la concentración de material particulado respirable PM<sub>2,5</sub>.

### 3.4.2. Diferencia significativa entre la altura y la concentración de PM<sub>10</sub>

**Tabla 14**

*Diferencia de medias de concentraciones de PM<sub>10</sub>*

Altura (m.s.n.m)	Concentración PM <sub>10</sub> (ug/m <sup>3</sup> )			$\Sigma(D_i - \bar{D})^2$
	Inferior	Superior	$\bar{D}$	
900,0 – 950,0	37,20	34,68	2,52	0,00
950,0 – 1000,0	34,68	31,00	3,68	1,31
1000,0 – 1050,0	31,00	29,45	1,55	0,97
1050,0 – 1100,0	29,45	26,73	2,71	0,03
1100,0 – 1150,0	26,73	24,60	2,13	0,16
1150,0 – 1200,0	24,60	21,50	3,10	0,32
1200,0 – 1250,0	21,50	19,18	2,32	0,04
1250,0 – 1300,0	19,18	16,66	2,52	0,00
1300,0 – 1350,0	16,66	14,34	2,32	0,04
1350,0 – 1400,0	14,34	11,62	2,71	0,03
1400,0 – 1435,0	11,62	9,30	2,32	0,04
$\bar{x}$			2,54	2,96

#### Prueba de significancia

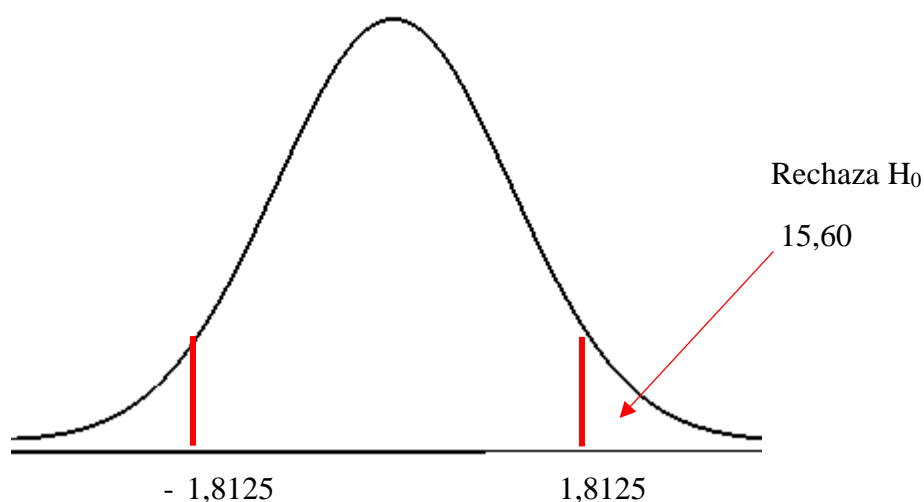
**H<sub>1</sub>:** Existe diferencia significativa entre la distribución espacial vertical y la concentración de material particulado respirable (PM<sub>10</sub>) en el Morro de Calzada.

**H<sub>0</sub>:** No existe diferencia significativa entre la distribución espacial vertical y la concentración de material particulado respirable (PM<sub>10</sub>) en el Morro de Calzada.

$$\bullet \quad S_d = \sqrt{\frac{\Sigma(D_i - \bar{D})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{2,96}{10}} = 0,54$$

$$\bullet \quad T = \frac{\bar{D}}{s_d/\sqrt{n}} = \frac{2,54}{0,54/\sqrt{11}} = 15,60$$

- $T_t = 1,8125$



**Figura 28:** Prueba de significancia entre la distribución espacial vertical y la concentración de  $PM_{10}$ .

Habiendo encontrado que el  $t_t$  es  $1,8125$  y el  $t_c$  es  $15,60$ , se puede observar que cae en la zona de rechazo de la hipótesis nula aceptando de esta manera la hipótesis alterna, lo cual indica que existe diferencia significativa entre la distribución espacial vertical (altura) y la concentración de material particulado respirable  $PM_{10}$ .

### **Comentarios finales del análisis de la diferencia significativa entre la distribución espacial vertical y la concentración de material respirable ( $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ )**

De los resultados de la evaluación y análisis de diferencias significativas de ambos parámetros con los datos de cantidad de partículas obtenidas en campo y procesadas en gabinete a fin de determinar las concentraciones, se puede decir existe diferencia significativa entre la distribución espacial vertical y la concentración de material particulado respirable  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ , afirmando así estadísticamente que a mayor altura menor concentración de ambos parámetros estudiados.

### 3.5. Discusión de resultados

La investigación evidencia de la inexistencia de la problemática en cuanto a una inadecuada distribución de material particulado respirable  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$  en relación a la altura desarrollada en la zona de estudio, dando así a entender que en la zona las partículas tienen una distribución normal en el espacio ya que a mayor altura existe menor concentración de estos contaminantes, si bien la OMS (2018) estima que cerca de siete millones de personas mueren cada año por la exposición a partículas finas contenidas en el aire contaminado, esto se desarrolla principalmente en ciudades más grandes, con mayor población y el desarrollo de otras actividades que emiten mayor cantidad de estos contaminantes como la mostrada por Rojas & Huaman (2017) en su investigación.

Los resultados de la investigación permiten demostrar la presencia de la mayor cantidad de partículas en las zonas más bajas donde existe mayor tránsito vehicular y sobre todo cuando las características de las calles, avenidas y el mismo suelo las presenta, es así que se encontró en el primer y segundo punto de muestreo mayor cantidad de partículas de ambos parámetros estos puntos estuvieron situados en la carretera hacia el área de estudio (900,0 m.s.n.m) y en la playa de estacionamiento (950,0 m.s.n.m) respectivamente, afirmando de esta manera la información mencionada por Viena (2018) y Viena & Cam (2018), quienes afirman que las calles o carreteras sin asfalto son las que presentan mayor concentración de partículas, además también teniendo en cuenta las características geológicas, geomorfológicas, entre otros que la Zonificación Ecológica Económica describe.

Herrera, (2011) da a conocer a través de su investigación que la concentración de  $PM_{10}$  se encuentran mayormente distribuidas por debajo de los 6,0 m, información que se afirma a raíz de que en los puntos de muestreo más inferiores se encontró lo mismo en la presente investigación, pero también es de hacer de conocimiento que en los puntos de muestreo más altos se encontró también la presencia de este parámetro, menciona también que las concentraciones en épocas de invierno son menores que en la época de verano, si bien no se realizó muestra en los meses de verano se puede asimilar que en esa época puede haber mayor concentraciones de partículas, además menciona que los resultados encontrados por él en Segunda Jerusalén, están por debajo de los estándares de calidad ambiental, analizando y encontrando que lo mismo sucede en la zona que se

estudió ya que ningún resultado de concentración excede los estándares de calidad ambiental para  $PM_{10}$ .

Capuena & Angulo, (2017), quien determino la concentración de partículas suspendidas respirables de  $PM_{2,5}$  menciona que en las localidades de Naranjos, Nueva Cajamarca, Segunda Jerusalén, Rioja y Moyobamba sus resultados le permiten afirmar que en todas estas localidades las concentraciones de  $PM_{2,5}$  exceden los estándares de calidad ambiental que la mayor encontrada fue de  $34,5 \text{ ug/m}^3$  y la menor concentración fue de  $24,5 \text{ ug/m}^3$ , en la presente investigación la mayor concentración promedio determinada en una fecha de monitoreo de este parámetro fue de  $29,06 \text{ ug/m}^3$  en el primer punto de muestreo comparándolo con los ECA establecidos en el DS N°-003-2017-MINAM se afirma que ninguna concentración excede los estándares para un periodo de 24 horas.

## CONCLUSIONES

Se concluye que los aspectos climatológicos y físicos forman parte fundamental en la distribución de las partículas, a raíz de que las características geológicas, geomorfológicas y tipos de suelo son de predominancia de arcillas y areniscas finas que por el desarrollo de actividades inciden directamente en la generación de material particulado, dicho esto, las características climáticas como precipitación, temperatura, velocidad del viento favorecen el desplazamiento y la eliminación de partículas en el espacio.

Se logró determinar que las concentraciones obtenidas son menores en la segunda etapa que en la primera, siendo la mayor concentración promedio de las 12 tomas de muestras  $24,22 \text{ ug/m}^3$  (900,0 m.s.n.m.) y la menor concentración fue de  $7,36 \text{ ug/m}^3$  (1435,0 m.s.n.m.) en cuanto a  $\text{PM}_{2,5}$ , para  $\text{PM}_{10}$  la mayor concentración promedio fue  $43,39 \text{ ug/m}^3$  y la menor concentración  $11,62 \text{ ug/m}^3$  ambos en los mismos niveles de altura, con respecto a la primera etapa que comprende desde 08 de febrero hasta el 15 de marzo del 2020. En la segunda etapa donde también se tomaron 12 muestras y que comprende desde el 20 de marzo hasta el 25 de abril del 2020, la mayor y menor concentración promedio para  $\text{PM}_{2,5}$  fue  $19,18 \text{ ug/m}^3$  (900,0 m.s.n.m.) y  $4,17 \text{ ug/m}^3$  (1435.0 m.s.n.m.), para  $\text{PM}_{10}$  fue  $31,00 \text{ ug/m}^3$  y  $6,97 \text{ ug/m}^3$  respectivamente también en los mismos niveles de altura.

Del análisis de las concentraciones se concluye que conforme aumenta la altitud sobre el nivel del mar menor será la concentración de material particulado respirable  $\text{PM}_{2,5}$  y  $\text{PM}_{10}$ . Además, se concluye que las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  son mayores a la de  $\text{PM}_{2,5}$  en todos los niveles de altura estudiados, aunque también es la que mayor descende conforme aumenta la altura dando así a entender que a nivel superficial se encuentra mayor cantidad de este tipo de partículas sobre todo cuando las características del punto de muestreo favorecen al caso. Se concluye además que las concentraciones de los parámetros estudiados en los puntos de muestreo 2, 3, 4, 5 y 6 se deben principalmente a la presencia de polen producido por la gran cantidad vegetación y humedad relativa, en el 1er y 2do punto de muestreo se debe principalmente al polvo generado por el movimiento vehicular y por el levantamiento de partículas por el viento, a partir del 7mo

punto de muestreo donde las tomas fueron realizadas al aire libre se asume la presencia de todos los tipos de material particulado anteriormente mencionados.

La evaluación y análisis de diferencias significativas de ambos parámetros con los datos de concentraciones promedios de los 3 meses de estudio permiten concluir la existencia de diferencia significativa entre la distribución espacial vertical y la concentración de material particulado respirable  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ , afirmando así estadísticamente mediante la diferencia de medias y el estadístico prueba t de student con un nivel de confianza del 95% que, a mayor altura menor será la concentración de  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ .



## RECOMENDACIONES

Si bien en la presente investigación se determinó que se desarrolla una distribución espacial vertical normal de la concentración de material particulado respirable se recomienda:

- \_ A los pobladores y agricultores tomar conciencia y desarrollar buenas prácticas ambientales en cuanto a emisión de contaminantes atmosféricos se trata.
- \_ A los dueños de ladrilleras y demás industrias emisoras de contaminantes atmosféricos se les recomienda la implementación de medidas de control, prevención y mitigación ambiental con la finalidad de reducir la cantidad de emisiones de contaminantes atmosféricos y en particular material particulado respirable.
- \_ A las autoridades municipales recomendarles la exigencia de implementación de medidas de mitigación ambiental al desarrollar actividades que emiten contaminantes atmosféricos en sus determinado distrito, asimismo recomendarles la implementación normativas municipales que permitan controlar la emisión de contaminantes atmosféricos de vehículos motorizados.
- \_ A las autoridades regionales y nacionales en materia ambiental recomendarles la implementación y aplicación de normativas ambientales con más rigor para las industrias ladrilleras y demás industrias pequeñas que no son tan controladas pero que emiten contaminantes atmosféricos en gran cantidad.

La población de nuestras ciudades aumentará considerablemente en los próximos años, con ello el número de industrias, parque automotor y demás actividades emisoras de contaminantes atmosféricos también se incrementará, es hora de que implementemos medidas de prevención, control y mitigación ambiental. Más vale una atmósfera con contaminantes distribuidos verticalmente de manera normal que una atmosfera con contaminantes distribuidos de manera no normal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia De Protección Ambiental – EPA. (2004). Las partículas y efectos en la salud. Washington.

Autoridad Regional Ambiental. Infraestructura de datos espaciales de la región San Martín (IDERSAM), disponible en: <http://siar.regionsanmartin.gob.pe/personas/infraestructura-datos-espaciales-san-martin>

Baird, C. & Cann, M. (2014). Química ambiental. 2a ed. Barcelona: Reverté, 2014. 9788429179156.

Billet, S., Garc-on, G., Dagher, Z., Verdin, A., Ledoux, F., Cazier, F., Courcot, D. Aboukais, A., Y Pirouz, S.P. (2007). Ambient Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>): Physicochemical characterization and metabolic activation of the organic fraction in human lung epithelial cells (A549).

Briones, E. & Malaver, C. (2015). Concentración de material particulado PM<sub>10</sub> y PM 2.5 en la cuenca atmosférica de Cajamarca durante los años 2014 y 2015. (Tesis de grado). Universidad Cesar Vallejo, Cajamarca.

Capuena, H. & Angulo, J. (2017). Determinación de la influencia de las actividades urbano e industrial en el nivel de contaminación del aire mediante la determinación de partículas suspendidas respirables (PM 2,5), en el Alto Mayo, 2015. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, Moyobamba.

Datos técnicos de contador de partículas, disponible en: [https://thermographic.weebly.com/uploads/9/6/4/2/9642076/contadores\\_de\\_part%C3%ADculas\\_trotec.pdf](https://thermographic.weebly.com/uploads/9/6/4/2/9642076/contadores_de_part%C3%ADculas_trotec.pdf)

DECRETO SUPREMO N-003-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias.

Escobedo, R. (2005). Zonificación Ecológica Económica del Alto Mayo, informe temático: Geología, geomorfología y suelos.

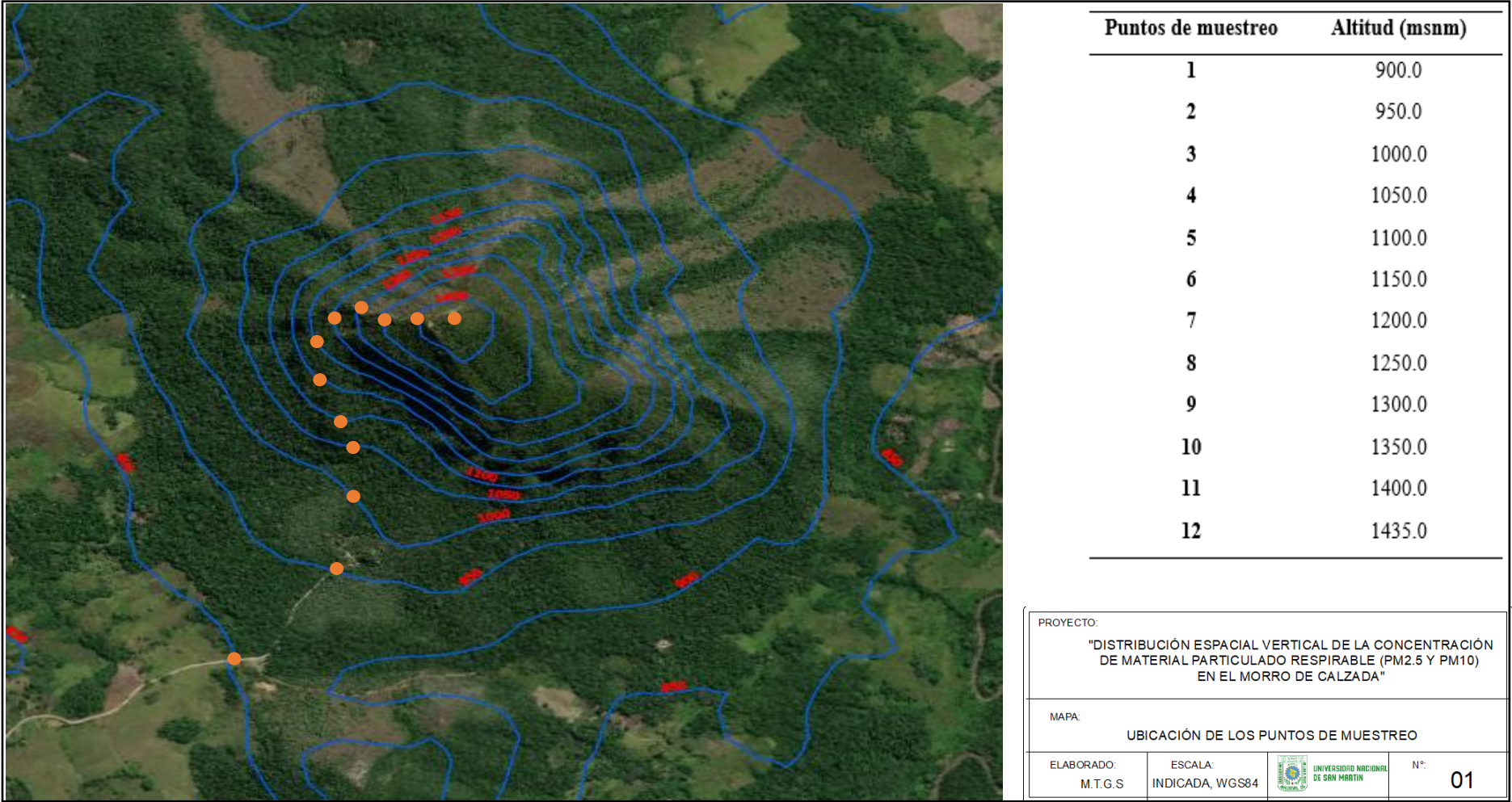
- Fang, G.C., Chang, C.N., Chu, C.C., Wu, Y.S., Fu, P., Yang, I.L., y Chen, M.H. (2003) Characterization of particulate, metallic elements of TSP, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5-10</sub> aerosols at a farm sampling site in Taiwan Taichung.
- Flores, F. (2017). Determinación de la cantidad de partículas atmosféricas sedimentables, mediante el método de muestreo pasivo, en la ciudad de Morales, provincia de San Martín, 2015. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, Moyobamba.
- Herrera, S. (2011). Distribución espacial vertical de las partículas en suspensión PM<sub>10</sub> del medio atmosférico urbano en Segunda Jerusalén-Rioja-San Martín-Perú. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, Moyobamba.
- Orfanos, A. (2016). Estratificación vertical y transporte viento abajo de contaminantes urbanos de Santiago de Chile. (Tesis de maestría). Universidad de Chile, Santiago de Chile. 2016.
- Organización Mundial de la Salud – OMS (b). Comunicado de prensa: Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado. [Citado 02 de mayo del 2018].
- Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>
- Organización Mundial de la Salud – OMS (a). Calidad del aire y la salud. [Citado 02 de mayo del 2018].
- Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Organización Mundial de la Salud – OMS (a). (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.
- Organización Mundial de la Salud – OMS (b). (2005). Red de vigilancia de la contaminación atmosférica del Ayuntamiento de Madrid, 2003-2005. Madrid, España.
- Pérez, J. y Gardey, A. (2016). Definición de temperatura atmosférica. Publicado: 2014. Actualizado: 2016.

- Pérez, J. y Gardey, A. (2013). Definición de viento. Publicado: 2010. Actualizado: 2013.
- Puigcerver, M. y Carrascal, M. D. (2008). El medio atmosférico: Meteorología y contaminación. Barcelona: Publicacions i Edicions, Universitat de Barcelona. 9788447532520.
- Reátegui, W. (2018). Estimación de la concentración de material particulado PM10 y PM2.5 en el área metropolitana de Lima utilizando un modelo Euleriano. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.
- Rojas, R y Huamán, P. (2017). Determinación de material particulado en fracción respirable en construcciones del distrito de Jesús María, 2015. (Tesis de grado). Universidad Inca Garcilaso de la Vega. Lima – Perú.
- Sánchez, C. (2011). Clasificación del material particulado menor de 10 micrometros PM10. Barcelona- España.
- Seoánez, M. (2002). Tratado de climatología aplicada a la ingeniería medioambiental. Madrid: A. G. Cuesta, S.A. 8484760073.
- Viena, A. (2018). Determinación de la concentración del material particulado respirable, influenciado por el tránsito vehicular, en la carretera Calzada – Soritor 2017. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, Moyobamba.
- Viena, A. y Cam, K. (2018). Determinación del nivel de concentración de partículas suspendidas respirables a nivel intradomiciliario, y su influencia en la salud pública, en la ciudad de Moyobamba 2016. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, Moyobamba.
- Wark, K. y Warner, C. (2012). Contaminación del aire: Origen y control. Mexico: Limusa, 2012. 9789681819545.

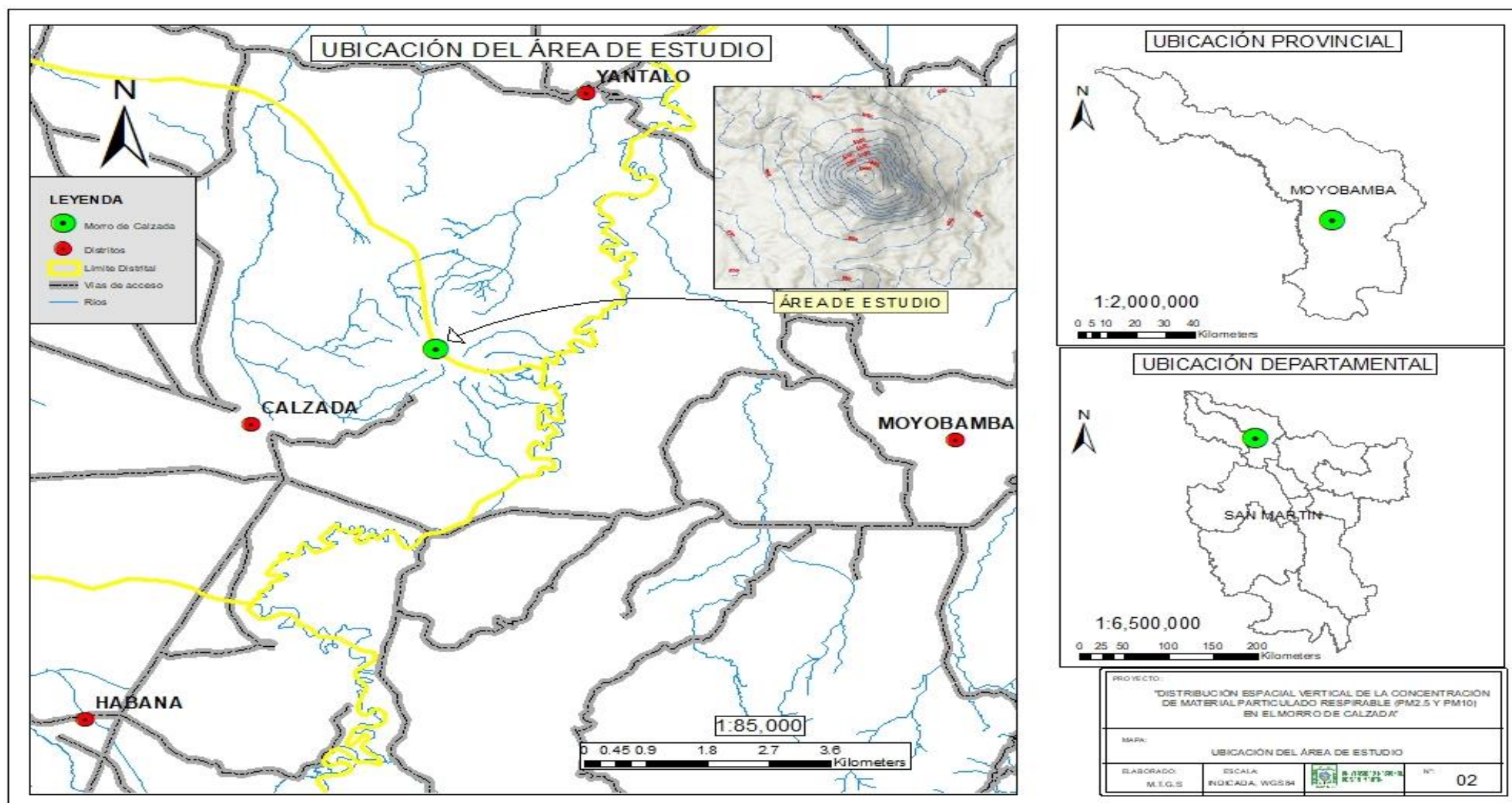
## **ANEXOS**

Anexo 1: Mapas

Mapa N° 1: Ubicación de los puntos de muestreo

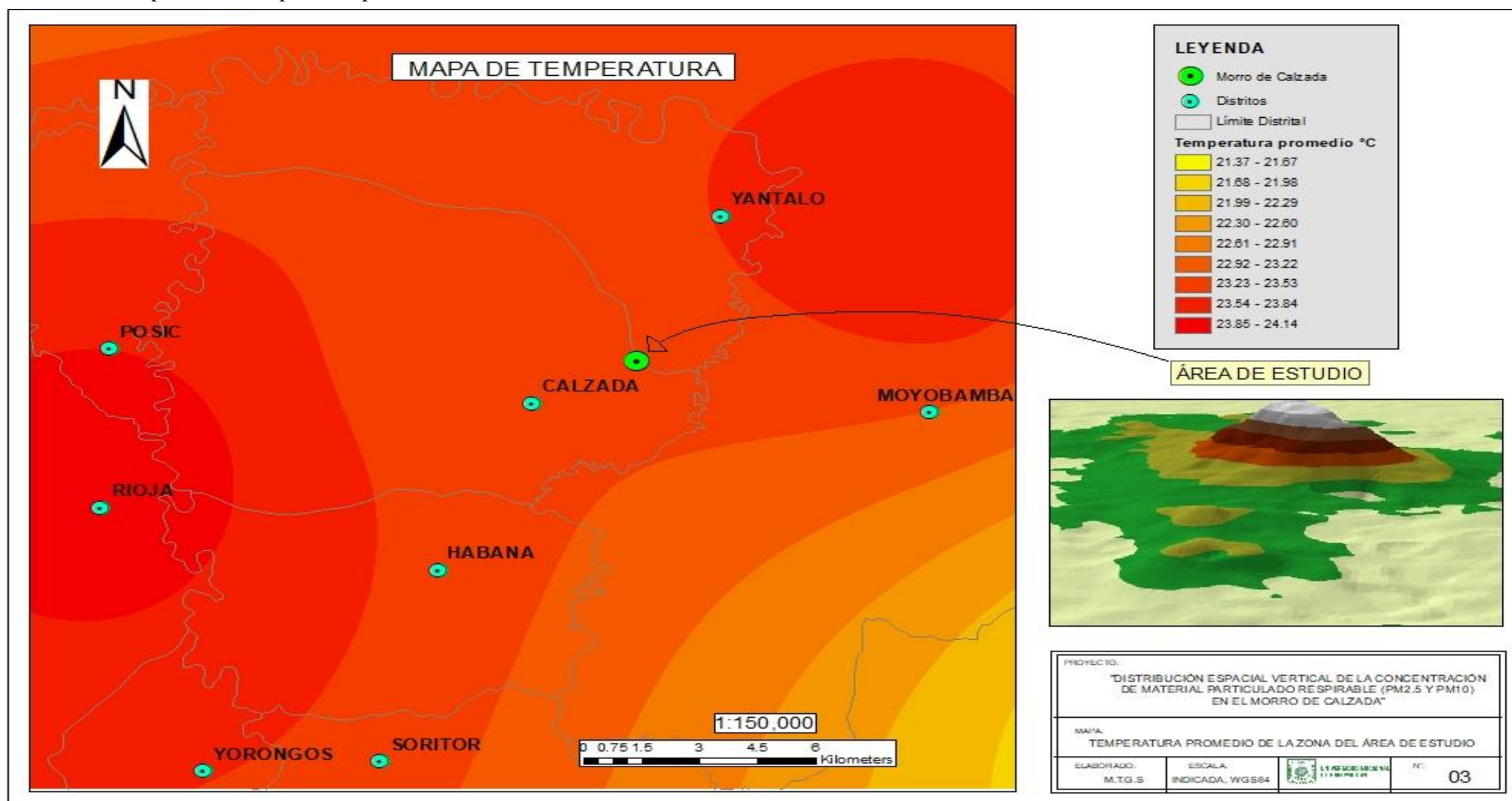


Mapa N° 2: Ubicación del área de estudio



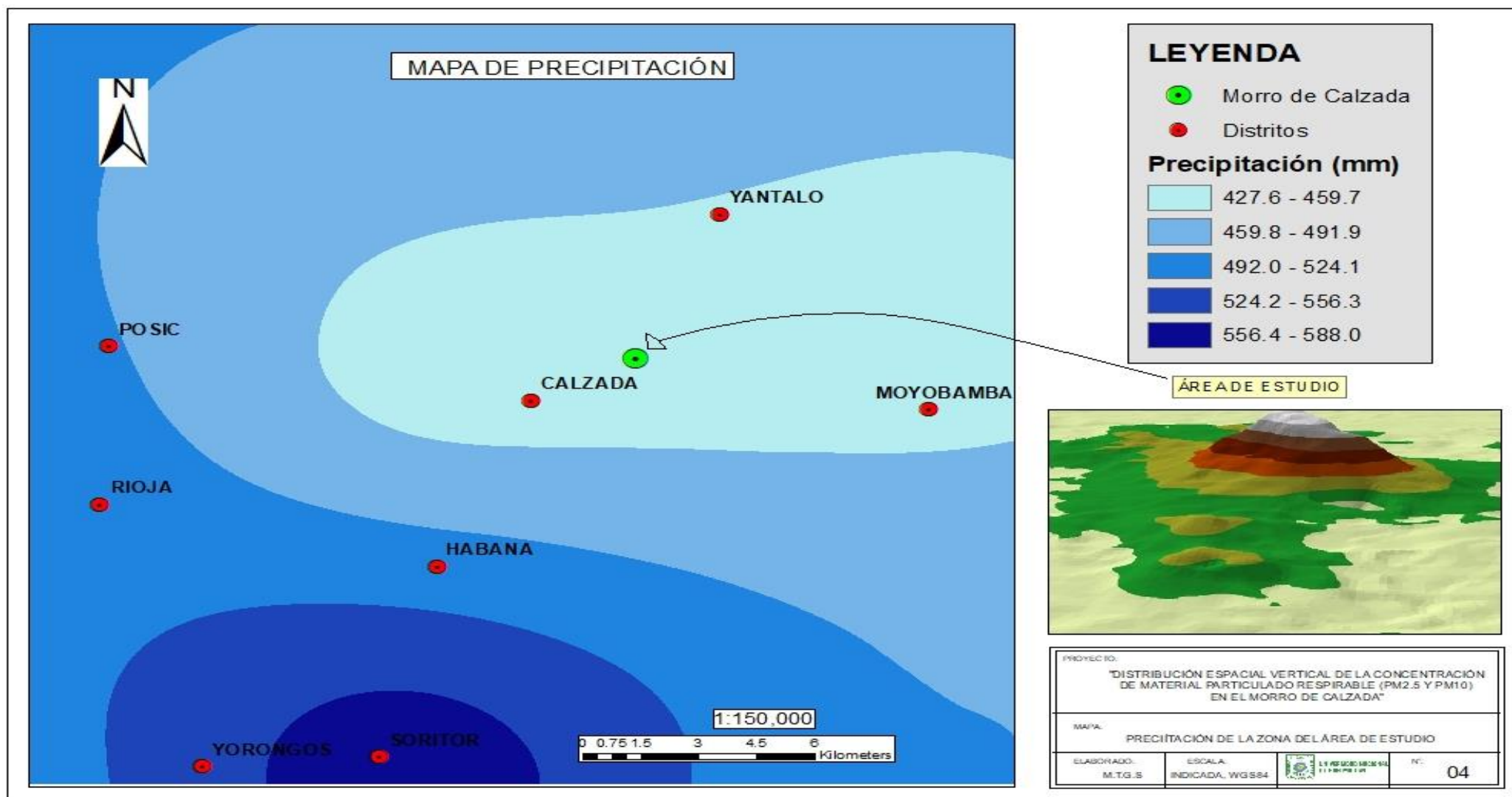


Mapa N° 3: Temperatura promedio

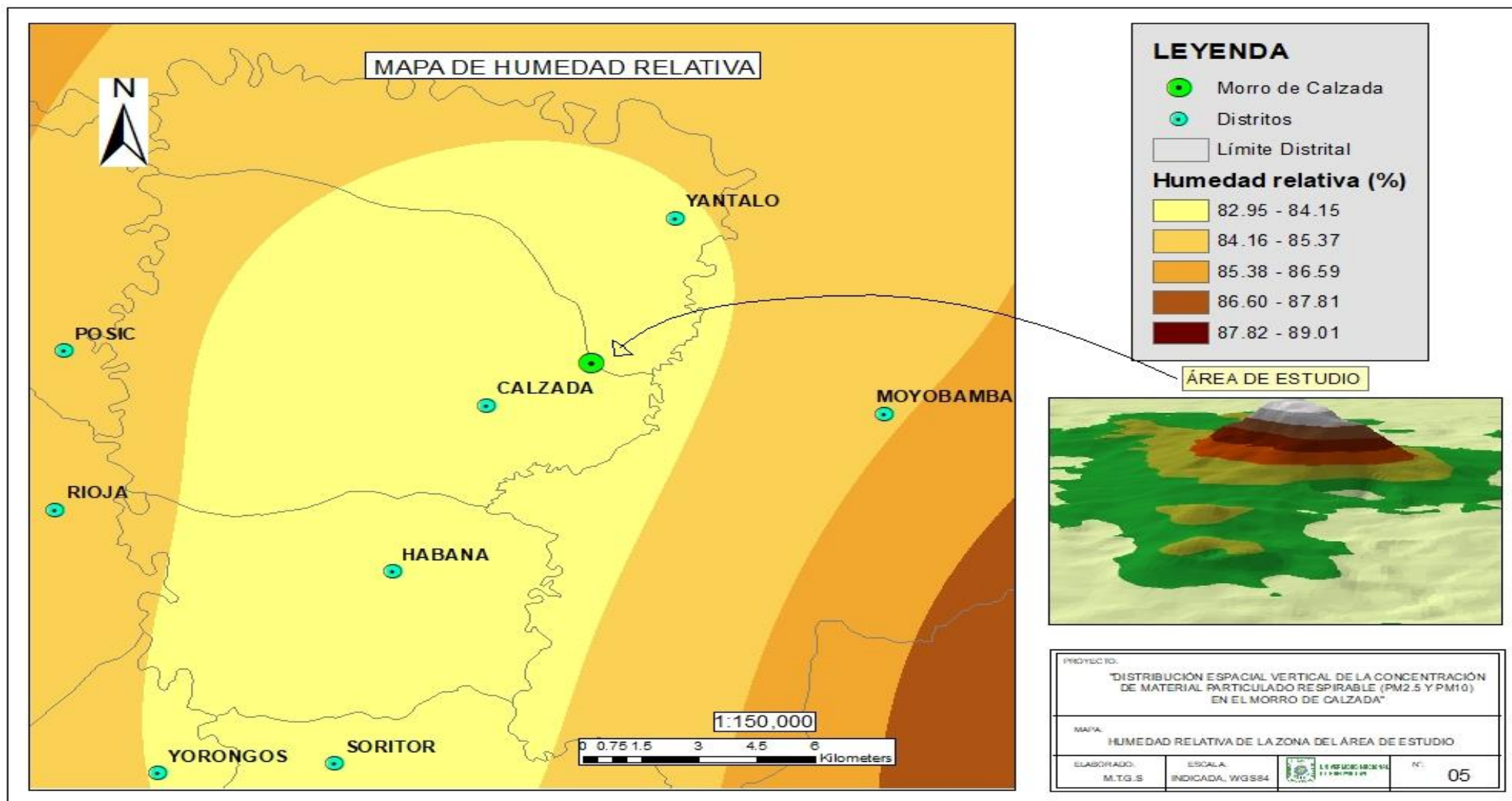




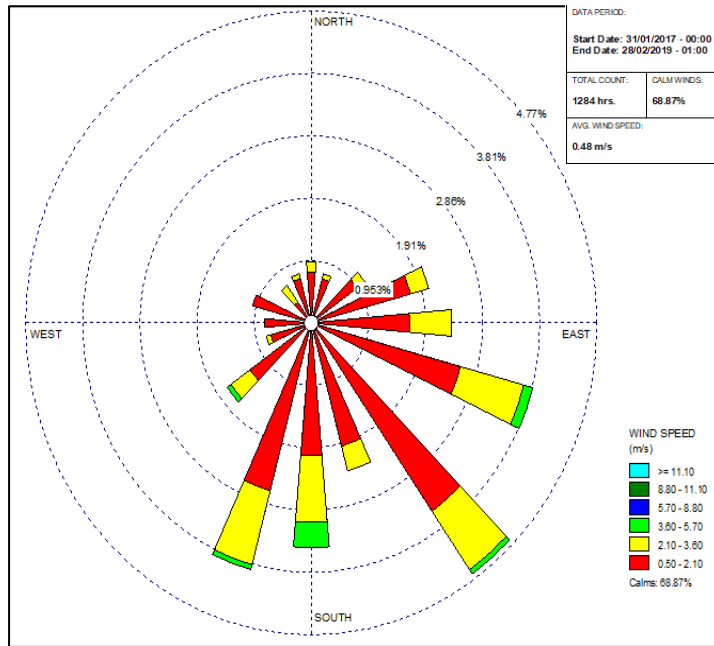
Mapa N° 4: Precipitaciones



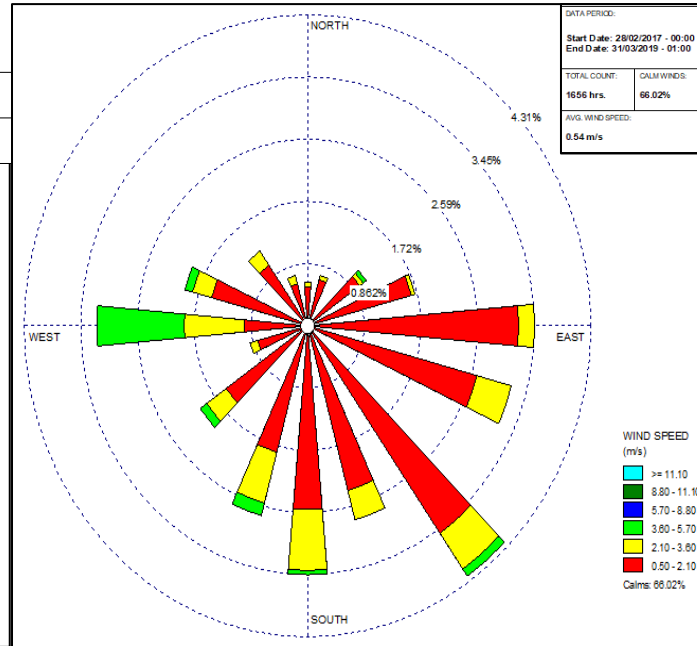
Mapa N° 5: Humedad relativa



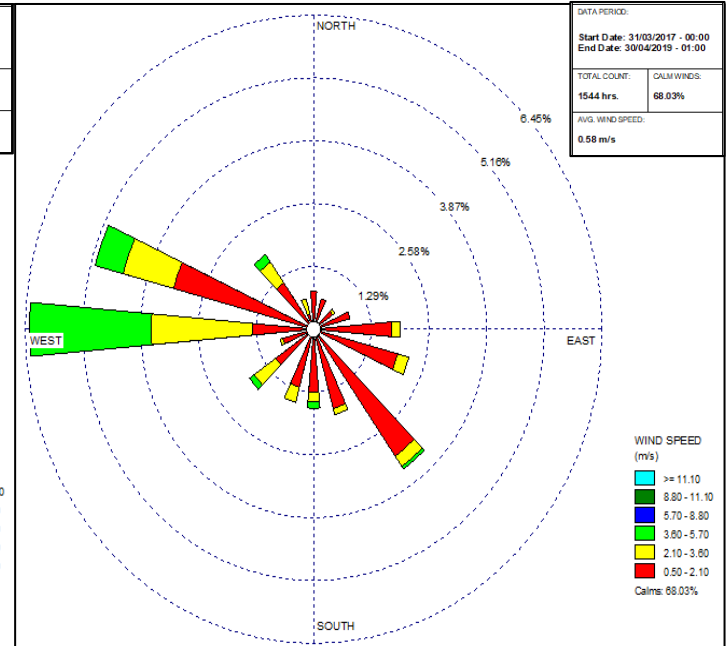
Mapa N° 6: Rosa de vientos



Mes de febrero

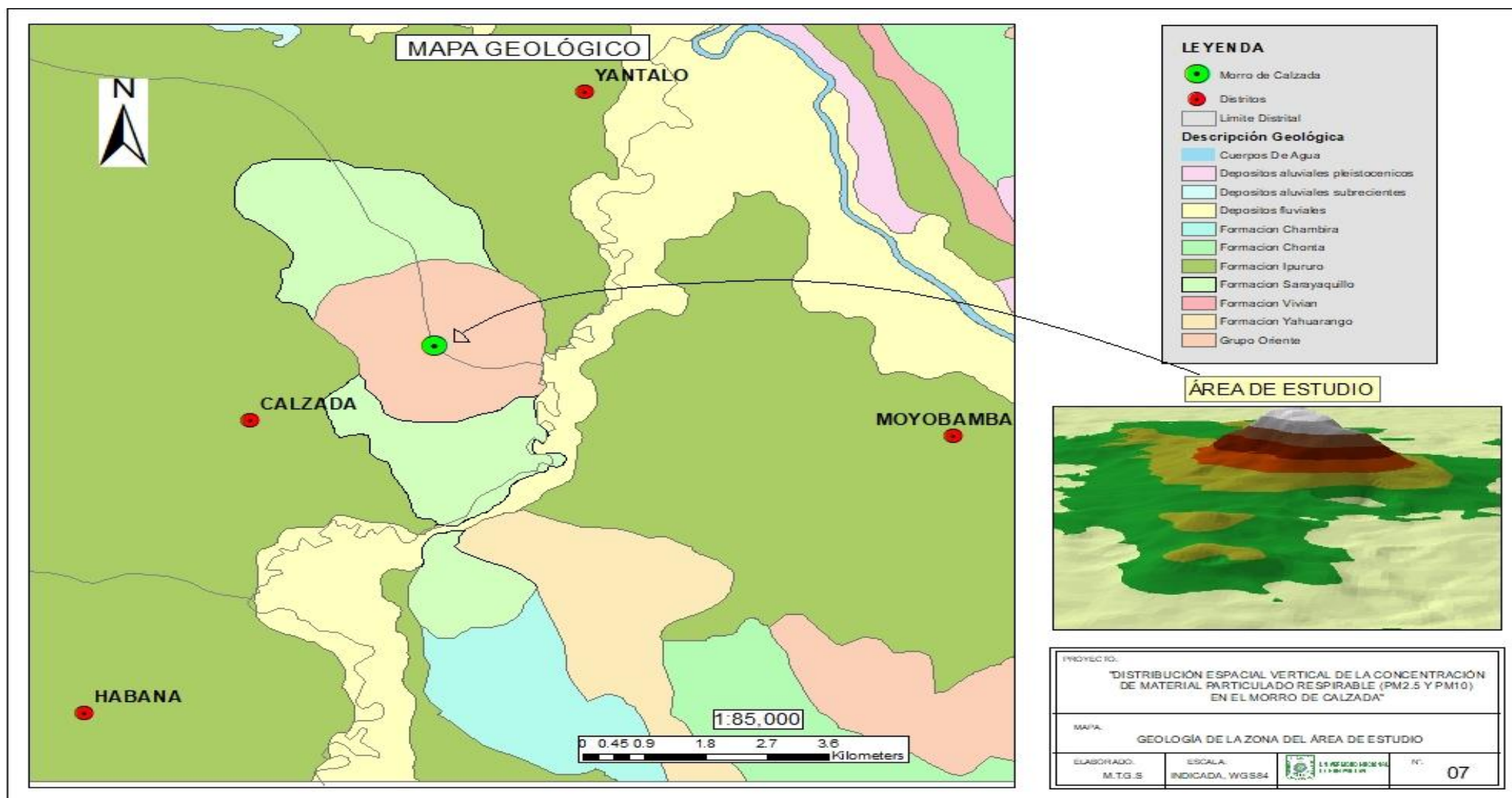


Mes de marzo



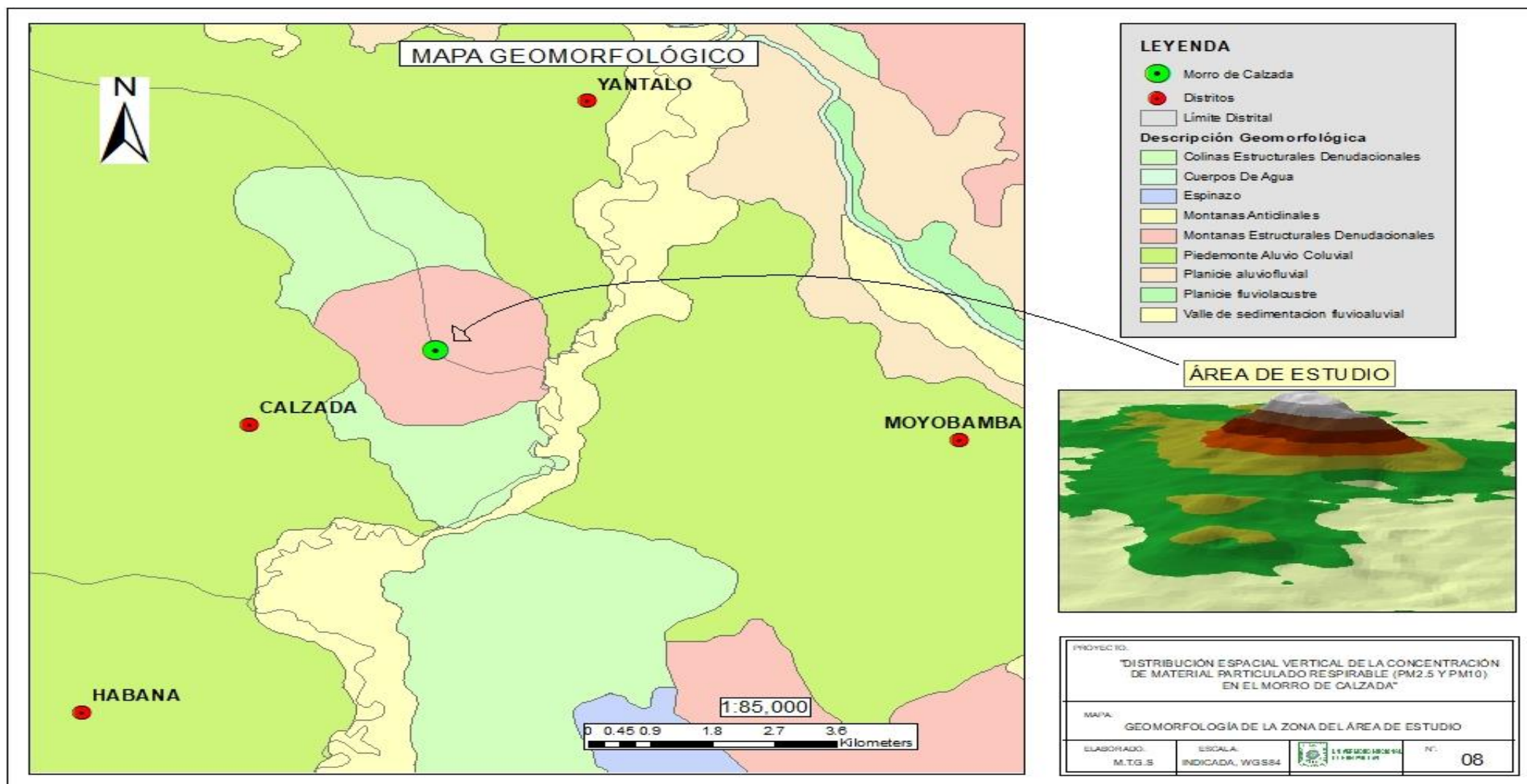
Mes de abril

Mapa N° 7: Geología

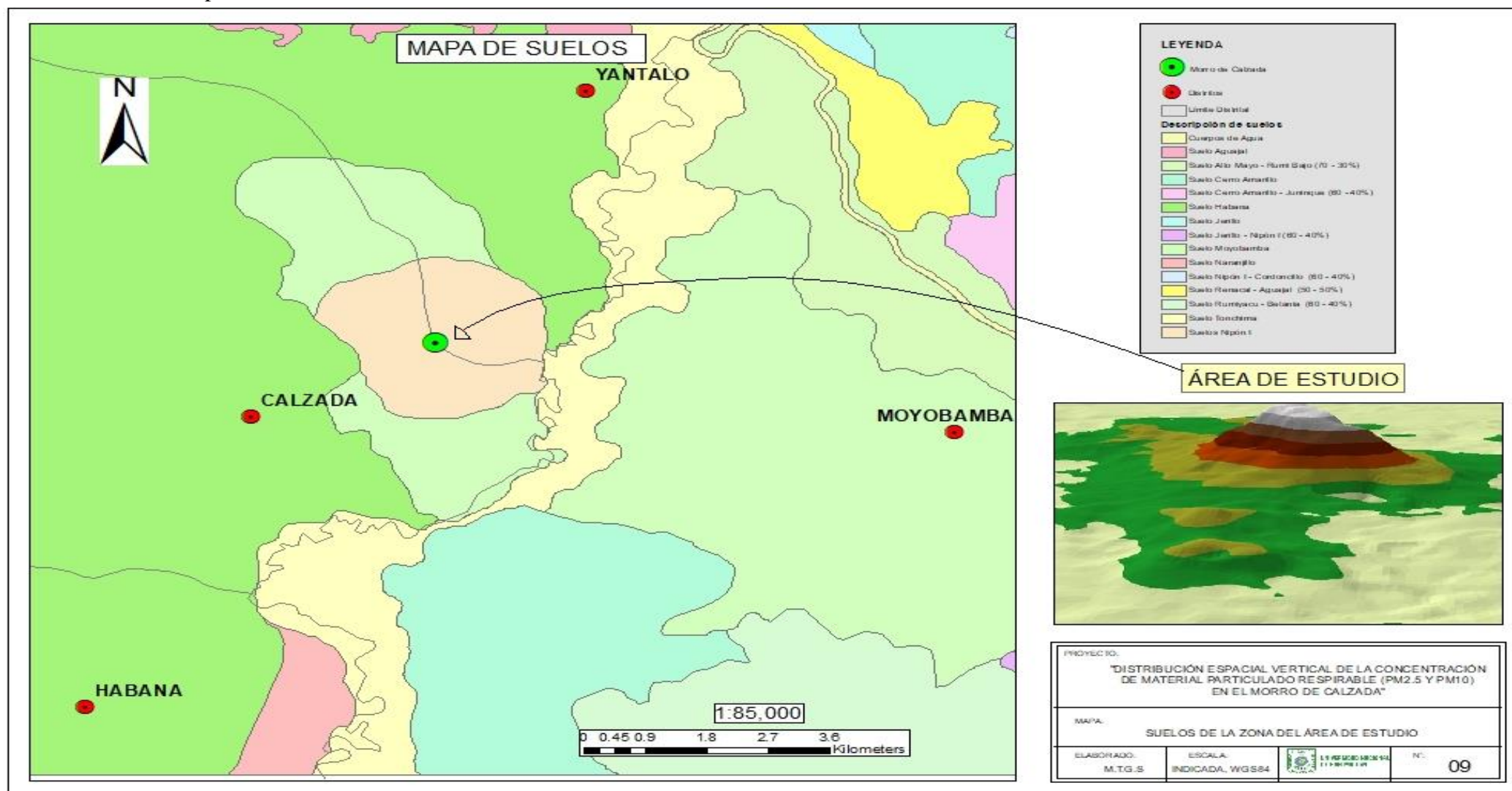




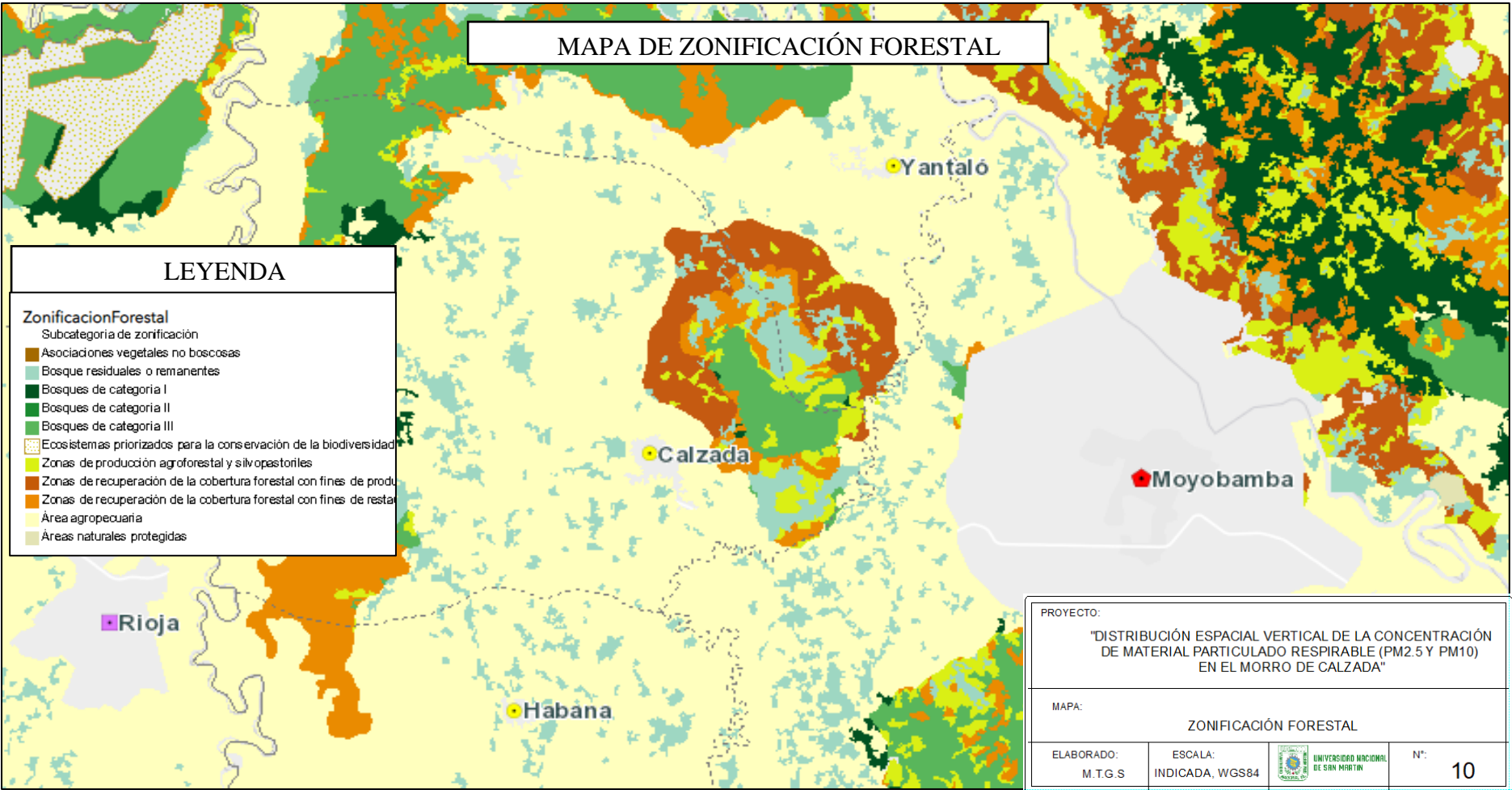
Mapa N° 8: Geomorfología



Mapa N° 9: Suelos



Mapa N° 10: Zonificación forestal



### Anexo 2: Ficha de toma de muestra

Puntos de muestreo	Altitud (msnm)	Cantidad de material particulado respirable	
		PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
<b>1</b>	900		
<b>2</b>	950		
<b>3</b>	1000		
<b>4</b>	1050		
<b>5</b>	1100		
<b>6</b>	1150		
<b>7</b>	1200		
<b>8</b>	1250		
<b>9</b>	1300		
<b>10</b>	1350		
<b>11</b>	1400		
<b>12</b>	1435		

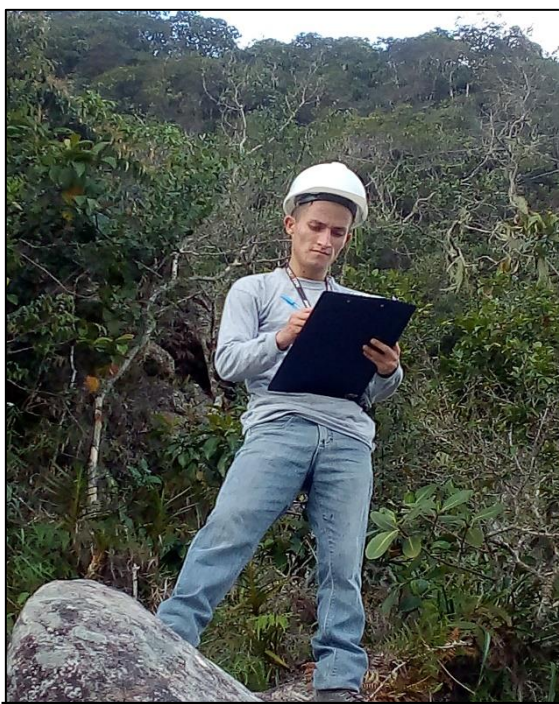


**Anexo 3: Registro fotográfico**

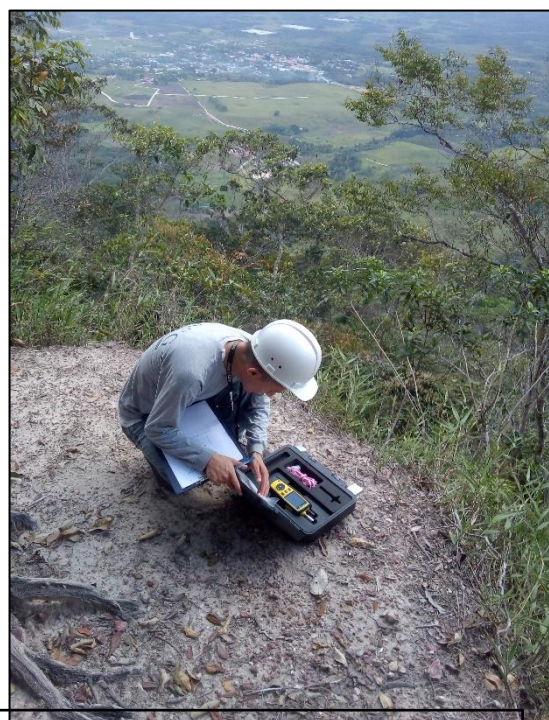
Toma de muestra en el último punto de muestreo



Toma de muestra en el primer punto de muestreo



Registro de toma de datos



Retiro del equipo para la toma de muestra





Cantidad de partículas tomadas por el equipo de medición



Ubicación de los puntos de muestreo



Señalización de los puntos de muestreo



Señalización de los puntos de muestreo

## Anexo 4: Acta de entrega de equipo de medición



**UNSM-T FACULTAD DE ECOLOGIA**  
*"Somos tu Llave para Triunfar"*



### ACTA DE ENTREGA DE EQUIPO DE LABORATORIO

En la ciudad de Moyobamba, siendo las 11:50 de la mañana del día viernes 07 de febrero del 2020, se hace entrega de un Contador de Partículas (que incluye equipo, cargador y porta equipo) perteneciente al Laboratorio Ambiental de la Facultad de Ecología – Filial Moyobamba, para ser utilizado en la ejecución del proyecto de investigación titulado "Distribución espacial vertical de la concentración de material particulado respirable (PM<sub>10</sub>) en el Morro de Calzada", a partir del día 07 de febrero hasta el 27 de marzo del 2020; con las siguientes características:

Marca	:	TROTEC –Pc 200
Estado	:	Operativo, óptimas condiciones
Serie	:	150701109
Inventario Patrimonial	:	2018
Código UNSM	:	60222171 – 0001

El asesor y el tesista son responsables de la custodia y funcionamiento de equipo.

El mismo que firmamos, en señal de conformidad, para los fines convenientes.

Moyobamba, 07 de Febrero del 2020



Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna  
 Decano

Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardalez  
 Docente Asesor

Miguel-Tomas Guerra Saldaña  
 Tesista

DNI : 72165737  
 Cel : 928549946

Ref. CARTA N° 001-2020/UNSM-FE/ING. AMBIENTAL

Prolongación 20 de Abril S/N Moyobamba – Telef. 042-562458  
 Email: fecol@unsm.edu.pe

**Anexo 5: Autorización para ingreso al área de estudio***Municipalidad Distrital de Calzada***"NUESTRO COMPROMISO ES TRABAJAR CON EL PUEBLO"***"Año de la Universalización de la Salud"*

Calzada, 3 de marzo del 2020

**CARTA N°03 – 2020 – MDC/GDEYGA.**

Señor Ing.  
Sr. MIGUEL TOMAS GUERRA SALDAÑA  
Egresado de la UNSM/ ING. AMBIENTAL  
Presente. -

**ASUNTO: AUTORIZACIÓN PARA TENER ACCESO AL MORRO DE CALZADA PARA REALIZAR PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.**

Ref.: Carta N° 00-2020/UNSM – FE/ING.AMBIENTAL

De nuestra consideración:

Por medio de la presente reciba un afectuoso saludo a nombre la Gerencia de Desarrollo Económico y Gestión Ambiental de la Municipalidad Distrital de Calzada y cumplimos con informarle que considerando la importancia del aporte de especialistas de Ingeniería Ambiental en proyectos de investigación de la biodiversidad del Morro de Calzada y de otras variables de manejo sostenible del medio ambiente, **SE AUTORIZADO** el ingreso de su persona más un acompañante al Complejo Turístico del Morro de Calzada, por el lapso desde el 03 de febrero hasta el 26 de abril del presente año. Esperamos que sus resultados (informe final de tesis aprobado) sean comunicados a la Municipalidad Distrital de Calzada. Si más que agregar me despido de usted, deseándole éxitos en su investigación.

Atentamente.

.....  
Ing. ELVAR MEGO VILLANUEVA  
Gerente GDEYGA